

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Liberec 2011

Kateřina Šimáčková

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ



Studijní program: N3108 Průmyslový management

Studijní obor: 3106T014 Produktový management

**VLIV GEOMETRIE A STRUKTURY TEXTILIE
NA JEJÍ OHYBOVOU TUHOST**

**THE INFLUENCE OF GEOMETRY AND
STRUCTURE OF FABRIC'S BENDING
RIGIDITY**

Bc. Kateřina Šimáčková

KHT-090

Vedoucí diplomové práce: Ing. Ludmila Fridrichová, Ph.D.

Rozsah práce:

Počet stran textu... 60

Počet obrázků..... 45

Počet tabulek..... 19

Počet stran příloh . 9

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Kateřina ŠIMÁČKOVÁ**
Osobní číslo: **T09000185**
Studijní program: **N3108 Průmyslový management**
Studijní obor: **Produktový management - Textil**
Název tématu: **Vliv geometrie a struktury textilie na její ohybovou tuhost**
Zadávající katedra: **Katedra hodnocení textilií**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Provedte rešerši na téma měření ohybové tuhosti. Zaměřte se na problematiku vlivu geometrie a struktury na ohybovou tuhost, na anizotropii ohybové tuhosti.
2. Provedte statistickou analýzu naměřených dat ohybové tuhosti metodou převisu a metodou TH7.
3. Zjistěte vliv dostavy, vazby a tvaru průřezu tkaniny na ohybovou tuhost.

PROHLÁŠENÍ

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci dne 02.05.2011

.....

PODĚKOVÁNÍ

Milou povinností každého studenta, který se chystá zakončit vysokoškolská studia, je poděkování svému vedoucímu práce. Nejinak je tomu v mém případě. Děkuji Ing. Ludmile Fridrichové, Ph.D. za vedení práce, cenné rady a trpělivost při realizaci této diplomové práce.

Dále děkuji Ing. Vladimíru Kovačičovi, že i přes své vytížení si našel čas na cenné konzultace v oblasti tvorby řezů tkanin.

V neposlední řadě patří poděkování mé rodině a blízkým, kteří mě po celou dobu studia podporovali.

ANOTACE

Tato práce je zaměřena na vliv geometrie a struktury textilie na její ohybovou tuhost. Rešeršní část je věnována anizotropii ohybové tuhosti textilií, metodám měření ohybové tuhosti a modelům struktury tkaniny. Praktickou část tvoří statistická analýza dat, která byla získána na přístroji TH-7 a metodou převisu. Dále je uveden vliv dostavy, vazby a průřezu tkaniny na ohybovou tuhost. Předposlední část mapuje možnosti tvorby řezů pro další výzkum. Podstatná fakta jsou shrnuta v závěru.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Anizotropie, ohýb, síla, tuhost, úhel, tkanina

ANNOTATION

This thesis is focused on the influence of geometry and structure of fabric's bending rigidity. The search part monitors anisotropy of fabric's bending rigidity, measurement methods of bending rigidity and models of woven structure. The practical part is statistical analysis of values which were obtained by TH-7 and by cantilever method. Next part is about the influence of yarn density, pattern and cross section of fabric's bending rigidity. The last part monitors possibility of preparing fabric's cross sections for further research. The essential facts are summarized at the end of this thesis.

KEY WORDS:

Anisotropy, bending, strength, rigidity, angle, fabric

Obsah

ÚVOD	9
1 SOUČASNÝ STAV POZNATKŮ O OHYBOVÉ TUHOSTI A JEJÍ ANIZOTROPII....	10
1.1 ANIZOTROPIE OHYBOVÉ TUHOSTI	12
1.2 VLIV PRŮŘEZU PŘÍZE NA OHYBOVOU TUHOST	14
2 VYBRANÉ METODY MĚŘENÍ OHYBOVÉ TUHOSTI.....	16
2.1 CANTILEVER TEST.....	16
2.2 TH-7	16
2.3 KES – KAWABATA EVALUATION SYSTEM.....	18
2.4 RIGFAB	19
2.5 MOMENT-CURVATURE	20
2.6 METODA PODLE B. STRÍŽE	20
2.7 METODA PŘEVISU	20
3 MODEL STRUKTURY TKANINY	22
3.1 GEOMETRICKÉ MODEL Y TKANINY.....	22
3.1.1 Peircův model.....	22
3.1.2 Kempův model.....	23
3.2 MECHANICKÝ MODEL TKANINY	24
3.3. SOUČASNÝ VÝZKUM	25
4 PRAKTICKÁ ČÁST	26
4.1 POPIS ZKOUMANÝCH TEXTILIÍ.....	26
4.2 VLIV SMĚRU OSNOVY A ÚTKU NA VÝSLEDNÉ POLÁRNÍ DIAGRAMY	27
4.3 POROVNÁNÍ OHYBOVÝCH SIL ČTVERCOVÝCH A KRUHOVÝCH VZORKŮ (TH-7)	28
4.3.1 Statistické vyhodnocení naměřených hodnot – přístroj TH-7.....	30
4.4 POROVNÁNÍ EXPERIMENTŮ – ZMĚNA MÍSTA MĚŘENÍ OHYBOVÉ SÍLY NA PŘÍSTROJI TH-7...	34
4.5 MĚŘENÍ OHYBOVÉ TUHOSTI METODOU PŘEVISU	35
4.5.1 Statistické vyhodnocení naměřených dat – metoda převisu.....	37
4.6 POROVNÁNÍ METOD MĚŘENÍ – TH-7 VS. METODA PŘEVISEM.....	41
4.6.1 Shrnutí poznatků k porovnání metodik měření.....	45
4.7 VÝPOČET OHYBOVÉ TUHOSTI PODLE PEIRCE	47
4.8 VLIV DOSTAVY, VAZBY A TVARU PRŮŘEZU TKANINY NA OHYBOVOU TUHOST	51
4.8.1 Vliv dostavy a vazby na ohyb	51
4.8.2 Vliv zakrytí a vazby tkaniny na ohyb	52
4.8.3 Vliv průřezu textilie na ohyb	55

5 PŘÍPRAVA PREPARÁTŮ PRO DALŠÍ VÝZKUM	57
5.1 POZOROVÁNÍ V DOPADAJÍCÍM SVĚTLE – PRINCIP METALOGRAFICKÉHO VÝBRUSU	57
5.2 POZOROVÁNÍ POMOCÍ ELEKTRONOVÉHO MIKROSKOPU	59
5.3 POZOROVÁNÍ V PROCHÁZEJÍCÍM SVĚTLE	60
5.4 ZHODNOCENÍ TYPŮ PREPARÁTŮ	60
ZÁVĚR	61
SEZNAM LITERATURY	64
SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ	67
PŘÍLOHY	70

Úvod

Pod pojem ohybová tuhost se snad každému, kdo se ve svém životě setkal s předmětem mechanika pevných těles, vybaví obrázek nosníku zatíženého určitou silou. Při výpočtu tuhosti v ohybu pak hrál důležitou roli příčný průřez zatěžovaného tělesa.

Nejen technické vědy se zabírají ohybovou tuhostí. Při talentových zkouškách na výtvarné obory je častým námětem zátiší s drapérií. V minulosti inspirovala tuhost a s ní spojená splývavost textilních materiálů řadu uměleckých děl - dramatické barokní umění, které tolik kladlo důraz na hru světla a stínů. Drapérie zachycené na obrazech, rozevlátá roucha soch,... Prvky inspirované právě textiliemi, jejich možnou poddajností a poměrně snadnou aranžovatelností. A nebo Karyatidy antických chrámů a jejich volně splývající roucha, která kopírují přednosti starověkých krás.

V životě každého z nás hraje ohybová tuhost textile svou nezastupitelnou roli. Je obecně známo, že ovlivňuje řadu jiných vlastností, jako např. splývavost, mačkavost atd. Zároveň je hodnocena při výběru tkaniny. Je samozřejmé, že na plesové šaty švadlena nepoužije touhou potahovou látku, stejně tak sedací nábytek potáhne čalouník šifonem.

Úvodní kapitoly této diplomové práce (řešeršní část práce) jsou věnovány problematice měření ohybové tuhosti, anizotropii ohybové tuhosti a modelům struktury tkaniny.

Experimentální část práce se zabývá kromě statistické analýzy dat získaných na přístroji TH-7 a metodou převisu také vlivem geometrie a struktury tkaniny na její ohybovou tuhost. I když příčný průřez příze má přibližně kruhový tvar, vlivem deformačních sil při tkaní a dalších operacích, kterými tkanina při výrobě prochází, dochází k jeho změně, která ovlivní výslednou tuhost celé textilie.

1 Současný stav poznatků o ohybové tuhosti a její anizotropii

Ohybovou tuhost textilií a její anizotropii stále zkoumá určitá skupina vědeckých pracovníků. Za průkopníka v této oblasti je pokládán F. T. Peirce, který je zmíněn snad v každé studii, jenž se problematikou ohybové tuhosti zabývá. Od 30. let minulého století, kdy Peirce publikoval práce na téma problematiky ohybu, došlo ke značnému technickému pokroku a tím i ke zdokonalení metod, kterými je možné ohybovou tuhost měřit, resp. získávat data, ze kterých bude později vypočtena.

Ohybovou tuhost textilie lze definovat různými způsoby např.:

V. Kovačič (2006, str. 50): „*Tuhost v ohybu je fyzikální veličina, popisující odpor textilie proti deformaci (ohýbání) vnějším zatížením.*“

ČSN 80 08558 (1974, str. 1): „*Tuhost - odolnost plošné textilie vůči ohýbání. Je to schopnost materiálu reagovat momentem vnitřních sil soudržnosti proti namáhání momentem vnějších sil způsobujících deformaci. Vyjadřuje se jako ohybový moment (M_o) v $mN \cdot cm$.*“

B. Kolčavová Sirková (2004, str.13): „*Tuhost v ohybu je odolnost plošné textilie vůči ohýbání, vlastní vahou i působením vnější síly. Tento odpor je součtem všech třecích a soudržných sil, které vznikají při ohybu mezi vlákny a mezi přízemi ve vazných bodech.*“

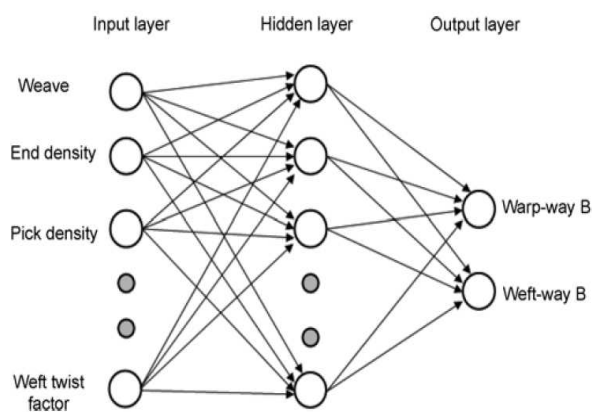
Nejpřesnější a nejkomplexnější definici ohybové tuhosti textilií lze nalézt v rukopisu habilitační práce L. Fridrichové (2008, str. 7):

Ohybová tuhost textilie je do značné míry závislá na ohybové tuhosti jednotlivých komponent, ze kterých je tvořena, zejména na ohybové tuhosti vláken a přízí. Kromě ohybové tuhosti těchto komponent je třeba zohlednit vliv řady dalších parametrů ovlivňující výslednou ohybovou tuhost textilního výrobku. Do této skupiny lze zařadit např. vzájemné kontakty vláken v přízi, tření mezi vlákny, zákrut příze, rovněž vzájemné kontakty mezi přízemi, které ovlivňují jednak tvar a velikost průřezu příze v místě kontaktu, jednak tření mezi složkami struktury tkaniny; podobné jevy se uplatňují i v pletenině. Lze

předpokládat, že na ohybové tuhosti textilie se podstatnou měrou podílí její struktura - zejména druh použité vazby.

Důvodem stálého zájmu o výzkum ohybové tuhosti je možnost predikce vlastností textilie. Tkaniny, resp. příze ze kterých jsou zhotoveny, nejsou homogenním materiálem, proto je také obtížné jejich přesné modelování pomocí PC, které je v současné době využíváno nejen designéry. V rámci projektování výrobku se často vytvoří model textilie či celého oděvu, do kterého je např. následně „oblečena“ figurína, ... Simulace výrobku (textilie samotné či oděvu) je důležitá při komunikaci se zákazníkem, neboť o případné koupi rozhoduje i vizuální dojem a ne každý má dobrou představivost. Své opodstatnění nachází rovněž ve fázi vývoje, např. k ověření předpokládaného chování výrobku.

Zajímavý způsob predikce ohybové tuhosti reprezentuje např. článek vědců B. K. Behera a R. Guruprasada z univerzity v Novém Dillí. Ohybová tuhost tkanin je vyšetřována pomocí tzv. „umělých neuronových sítí“, tedy prostředkem pro zpracování komplexních dat. Zkoumané tkaniny byly bavlněné, setkané v plátnové a atlasové vazbě, vyprané a relaxované. Série vzorků měly různé dostavy osnovy a útku, lišil se též počet zákrutů příze. Celkem bylo testováno 71 typů tkanin a ohybová tuhost byla měřena na přístroji KES FB2. (B. K. Behera, R. Guruprasad, 2010)

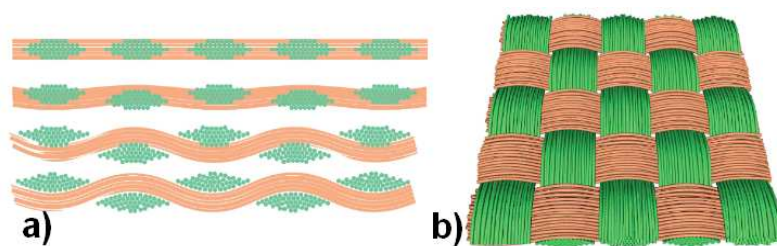


Obr. 1.1 Schéma třívrstvé síťové struktury s dopřednou vazbou
(B. K. Behera, R. Guruprasad, 2010, str. 1190)

Na obrázku 1.1 je zachyceno schéma síťové struktury. Pro testování bylo zvoleno programové prostředí MATLAB. Autoři uvádějí, že celkové chyby modelu

predikce dosahovaly pouze 7,8 %, korelace mezi skutečnými a predikovanými hodnotami dosahovala hodnot 0,99. Výsledky poukazují na vhodnost využití výše popsané metodiky pro predikci ohybové tuhosti textilie. (B. K. Behera, R. Guruprasad, 2010)

Graficky působivá simulace se pak objevuje v příspěvku D. Durville (2010): „*Simulation of the mechanical behaviour of woven fabrics at the scale of fibers*“, model zohledňuje nekruhový průřez zatkaných přízí, viz. obrázek 1.2 a) a b).



Obr. 1.2 a) Modelace průběhu tkaní, b) Model tkaniny (D. Durville, 2010)

1.1 Anizotropie ohybové tuhosti

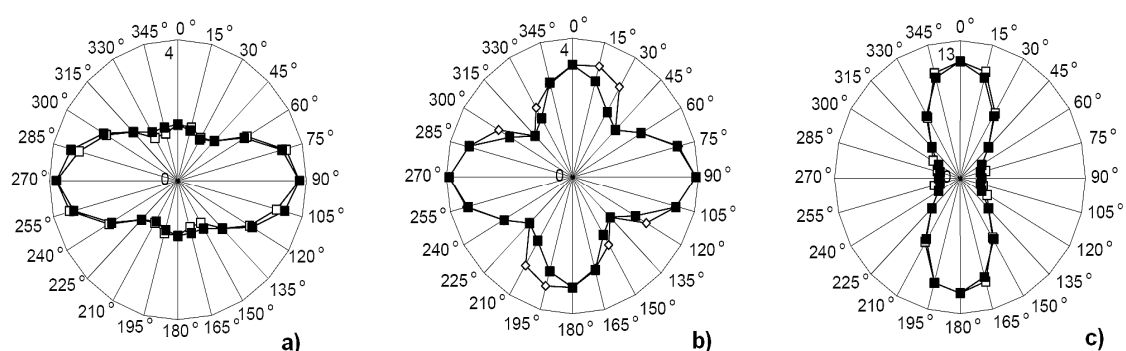
Aby bylo možné se problematikou anizotropie dále zabývat, je vhodné si ji nejprve definovat. Např. internetový *ABZ slovník cizích slov* ji definuje jako: „závislost fyzikálních vlastností látek na směru, ve kterém se měří.“

I když anizotropii textilních útvarů studuje po celém světě řada vědců, např. C. Cassidy, S. V. Lomonov: „*Anisotropy of fabrics and fusible interlinings*“ (1998), L. Sodomka: „*Anizotropie součinitele tření základních vazeb bavlněných tkanin*“ (2001), M. Niwa: „*Analysis on the Anisotropic Tensile Properties of Plain Weave Fabrics*“ (1969), nebo A. Linka, M. Tunák: „*Planar Anisotropy Of Fibre Systems by Using Matlab Image Processing Toolbox*“ (2007), anizotropií konkrétně ohybové tuhosti se zabývala a zabývá pouze úzká skupina.

Na anizotropii ohybové tuhosti jako takovou se zaměřil tým vědců japonské univerzity Shinshu A. Shinohara, F. Shinohara a K. Sakaebara ve své práci: „*Theoretical Study on Anisotropy of Bending Rigidity of Woven Fabrics*“.

Autoři odvodily univerzální rovnice, kterými lze analyzovat ohybovou tuhost tkaniny v jakémkoliv směru, přičemž krouťící efekt přízí není zanedbán. (Shinohara & kol., 1980)

Další práce spojená s výše uvedenou problematikou pochází z litevské Kaunas University of Technology. Autoři V. Sidabraitė a V. Masteikaite v článku: „*Effect of Woven Fabric Anisotropy on Drape Behaviour*“ uvádí, že cílem jejich výzkumu bylo hodnocení a predikce tuhosti textilie v různých směrech. Tuhost v ohybu byla určována pro dvanáct různých směrů tak, aby bylo možné vytvořit polární diagramy, které představují stupeň anizotropie ohybu tkaniny. (Sidabraitė & kol., 2003)

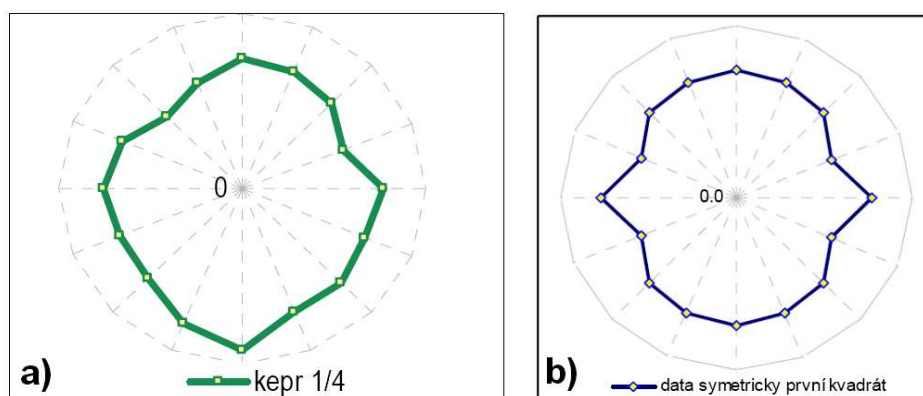


Obr. 1.3 Polární diagramy ohybové tuhosti (Sidabraitė & kol., 2003, str. 113)

Obrázek 1.3 představuje polární diagramy, jenž ve svém příspěvku uvedli výše zmínění autoři. část a) představuje stav, kdy ohybová tuhost osnovy B_{A1} je menší než ohybová tuhost útku B_{A2} . část b) zobrazuje přibližnou rovnost ohybové tuhosti obou soustav nití, část c) pak stav opačný ku a), tedy že tuhost osnovy je větší než útku. (Sidabraitė & kol., 2003)

Na FT TUL se výzkumu ohybové tuhosti textilií a její anizotropii věnuje L. Fridrichová, která své poznatky shrnula např. v disertační a habilitační práci. V habilitační práci autorka proměřovala čtvercové vzorky o rozměru 45 x 45 mm a kruhové vzorky o průměru 45 mm na přístroji TH-7. Soubor osmi vzorků obsahoval pět druhů tkanin plátnové vazby lišících se dostavou útku a tři typy keprů. Všechny vzorky byly odšlichtované, příze byly jemnosti 29,5 tex. Cílem práce bylo mimo jiné prokázat či vyvrátit hypotézu o závislosti ohybové tuhosti na příčném průřezu příze, jenž se mění vlivem zvyšujícího se počtu zatkaných nití v útku. (Fridrichová, 2008)

Jedním z výstupů habilitační práce L. Fridrichové jsou polární diagramy ohybové tuhosti zkoumaných vzorků (viz obr. 1.4a). Autorka komentuje polární diagramy, které jsou uvedeny ve výše zmíněné práci Sidabraitaita, a porovnává je se svými výsledky. Odlišnost Sidabraitových diagramů vysvětluje tím, že při experimentech litevských vědců byly použity různé typy materiálů, avšak nejsou uvedeny parametry příze, ze kterých byly vzorky zhotoveny; vzorky mohly obsahovat jiný druh příze v osnově a jiný v útku, což se na výsledné ohybové tuhosti samozřejmě projevuje. L. Fridrichová též upozorňuje na nevhodnost kopírování naměřených hodnot do diagramu na základě předpokládané symetrie. Jak dokazuje obr. 1.4b, diagram vytvořený překopírováním hodnot výrazně změnil výsledný obrazec. (Fridrichová, 2008)




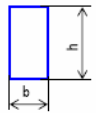
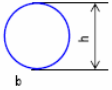
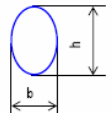
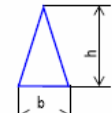
Obr. 1.4 Polární diagramy anizotropie ohybové tuhosti: a) všechna data, b) kopírování 1. kvadrantu (Fridrichová, 2008, str. 54)

1.2 Vliv průřezu příze na ohybovou tuhost

Výsledná hodnota ohybové tuhosti je závislá na tvaru průřezu tělesa, které je ohýbáno. Většina modelů tkanin vychází z předpokladu, že i zatkané příze mají kruhový průřez (viz. kapitola 3). V praxi se ovšem průřez příze mění – z přibližně kruhového se stává eliptický. Příze navíc není homogenním útvarem; zároveň každá má určitou hmotnou nesterenost.

Vliv na hodnotu ohybové tuhosti má změna kvadratického momentu průřezu plochy. V tabulce 1.1 jsou uvedeny základní geometrické tvary a jejich kvadratický moment. (Fridrichová, 2008, příloha B)

Tab. 1.1 Kvadratické momenty ploch průřezů

Typ průřezu	Skica	Vzorec pro výpočet kvadratického momentu
a) čtverec		$J_{yt} = \frac{1}{12} h^4$
b) obdélník		$J_{yt} = \frac{1}{12} b * h^3$
c) kruh		$J_{yt} = \frac{1}{64} h^4$
d) elipsa		$J_{yt} = \frac{1}{64} b * h^3$
e) trojúhelník		$J_{yt} = \frac{1}{32} b * h^3$

V roce 2010 byly uveřejněny práce výzkumníků Z. Du, B. Xu a W. Yu: „*Theoretical Study on the Bending Rigidity of Filament Yarns with an Elliptical Cross-section Using Energy Method. I. Theoretical Modeling*“ a „*Theoretical Study on the Bending Rigidity of Filament Yarns with an Elliptical Cross-section Using Energy Method. II. Numerical Evaluation*“. Tým vědců se zaměřil na ohybovou tuhost příze s eliptickým průřezem. Autoři uvádějí, že většina modelů vychází ze zjednodušené vazné vlny tkaniny – příze mají kruhový průřez. V prvním příspěvku je analyzován obvod eliptického průřezu, ohyb a torzní energie samotného vlákna a ohybová tuhost příze. Ve druhém příspěvku autoři analyzují chyby způsobené právě zjednodušením průřezu příze. V závěru práce je vzhledem k dosaženým poznatkům uvedeno doporučení, aby deformační analýzy byly založeny na eliptickém průřezu příze.

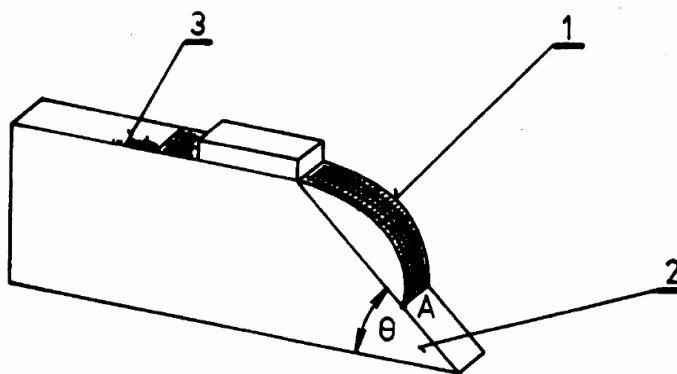
2 Vybrané metody měření ohybové tuhosti

2.1 Cantilever test

Cantilever test vychází ze Sommerovy metody, tj. metody vycházející z ohybu jednostranně vetknutého nosníku, která byla vyvinuta pro posuzování textilních výztužných materiálů v oděvnictví. Proužek textilie o dané délce je vysouván nad šikmou plochu přístroje (viz. obr 2.1) tak dlouho, až se kraj proužku dotkne šikminy. Následně se na stupnici odečte příslušná hodnota vysunuté délky proužku zkoumané textilie a dosadí do níže uvedené rovnice (2.1). Jedná se o tzv. statickou metodu, při níž se měří okamžitá ohybová tuhost textilie. (Kovačič, 2006)

$$T_{oc} = \rho_c * \left(\frac{l}{2}\right)^3 \quad (2.1)$$

kde: T_{oc} tuhost v ohybu [kg.m],
 ρ_s plošná hmotnost textilie [kg.m⁻²],
 l vysunutá délka proužku [m].



Obr. 2.1 Přístroj pro stanovení tuhosti v ohybu (Kovačič, 2006, str. 52)

2.2 TH-7

Přístroj TH-7 je inovovaný typ přístroje TH-5; jedná se o československý patent. Měření ohybové tuhosti na TH-5 pak stanovuje norma ČSN 80 0858.

Princip měření na TH-7 popisuje v rukopisu disertační práce L. Fridrichová: „Textilie se umístí do otočné upínací čelisti. Po spuštění přístroje se čelist otočí do předem nastavené polohy, přičemž ohnutá textilie působí tlakem na snímací čidlo, ...“

Jednou z výhod inovovaného přístroje TH-7 je ukládání dat do programu MS Excel; v případě TH-5 je zápis dat prováděn obsluhou přístroje, což může vést k chybám (chybně zapsané hodnoty např. vlivem nepozornosti), nehledě na delší časový interval při ručním zápisu dat. TH-7 zároveň umožňuje provést ohýbání zkoumané textilie v cyklech – zaznamenává se celý průběh zkoušky. (Fridrichová, 2008)

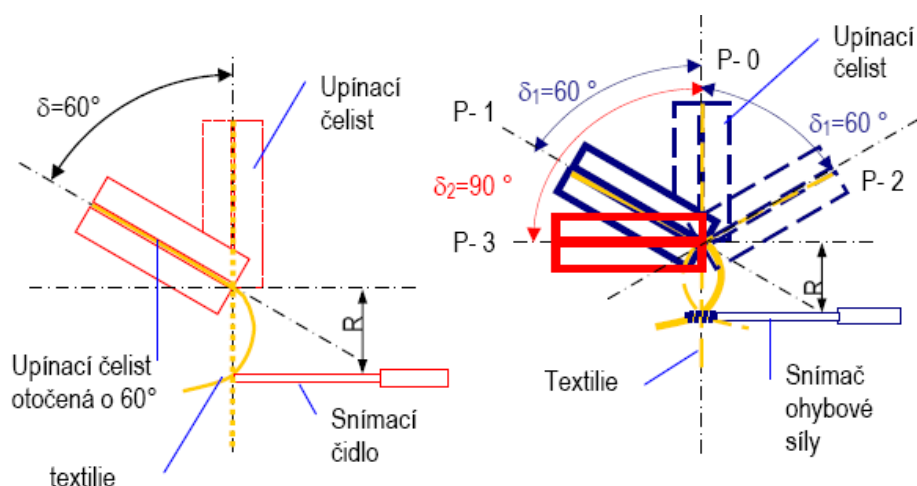
Zatímco na přístroji TH-5 byly měřené vzorky obdélníkové (25 x 50 mm), na TH-7 se proměřují vzorky čtvercové (45 x 45 mm; lze tak proměřovat osnovu i útek na téže vzorku) nebo kruhové. Oba přístroje nezaznamenávají ohybovou tuhost, nýbrž ohybovou sílu. Pro stanovení hledané tuhosti se uplatňují následující vztahy (viz norma ČSN 80 0858):

$$M_o = F_1 * K \quad (2.2)$$

$$F_1 = F * B, \quad K = \frac{l}{b} \quad (2.3)$$

kde: M_o ohybová tuhost na 1 cm [mN.cm],
 F_1 ohybová síla (snímaná čelistí),
 l délka oblouku kružnice (tj. délka vzorku při vychylce o úhel φ),
 b šířka vzorku.

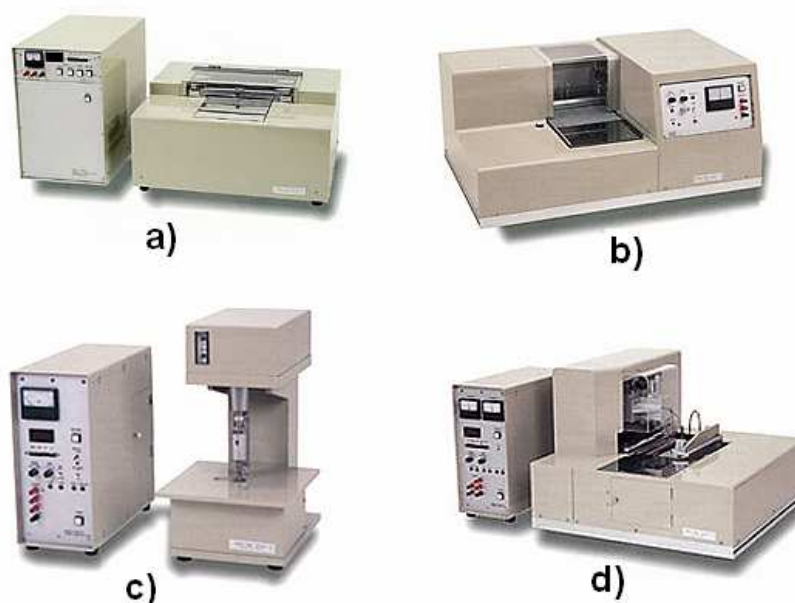
Na obrázku 2.2 je znázorněno schéma staršího typu přístroje na měření ohybové tuhosti textilie TH-5 (vlevo) a inovovaného přístroje TH-7 (schéma vpravo). Jak je z obr. patrné, v případě TH-5 se čelist otáčí pouze jedním směrem, kdežto u přístroje TH-7 lze nastavit čtyři různé polohy, do kterých se čelist otočí. Přestože inovace přístroje TH-5 odstranila řadu problémů týkajících se způsobu měření a zápisu dat, i přístroj TH-7 má určité nedostatky. Jedná se např. o nerovnoměrný záznam průběhu zkoušky, vysokou citlivost čelisti na změny – je umístěná na hrotu, apod. (Fridrichová, 2008)



Obr. 2.2 Schéma přístrojů: vlevo TH-5, vpravo TH-7 (Fridrichová, 2008, str.32)

2.3 KES – Kawabata Evaluation System

Jedná se o přístroj sestávající ze čtyř modulů (FB 1-4), který byl vyvinut S. Kawabatou. Zařízení slouží k hodnocení mechanických vlastností plošných textilií přičemž každý modul je určen pro měření jiné veličiny. Modul FB1 je určen pro měření tahu a smyku, modul FB2 pro měření ohybové tuhosti, modul FB3 pro měření stlačení a poslední modul, FB4 slouží k tření a profilu povrchu. Celou soustavu čtyř modulů představuje obr. 2.3. (Sodomka, Dudíková, 2007)



Obr. 2.3 Moduly přístroje KES: a)FB1, b)FB2, c)FB3, d) FB4 (KATO TECH CO.,LTD)

Modul pro měření ohybové tuhosti textilie FB2 má dvě čelisti, přičemž jedna je pohyblivá, druhá pevná. Vlastní měření probíhá tak, že se vzorek zkoumané textilie upevní do čelistí a materiál je ohýbán do meze křivosti max. $\pm 2,5 \text{ cm}^{-1}$ (po osnově i po útku). Výsledkem měření je hodnota ohybové tuhosti $B [\text{N.m}^2.\text{m}^{-1}]$. (Nováčková)

2.4 RIGFAB

Jedná se o nový typ přístroje na měření ohybové tuhosti textilie, jehož autorem je J. Hlavatý. Princip měření popisuje J. Hlavatý následovně: „*Přístroj funguje na principu vetknutého nosníku namáhaného v podélném a kolmém směru senzorovou podporou, která ohýbá vzorek (130 x 100 mm) o úhel 60° z počáteční polohy -30° .*“ Výsledná ohybová tuhost se pak vypočítá podle vztahu 4:

$$B = \frac{Fl}{Kb} \quad (2.4)$$

kde: B ohybová tuhost, $[\text{N.m}^2.\text{m}^{-1}]$
 b šířka vzorku,
 F síla v podélném směru,
 K křivost,
 l délka vzorku mezi podporou a čelistmi.



Obr. 2.4: a) Schéma přístroje RIGFAB, b) Celkový pohled na přístroj RIGFAB
 (Hlavatý, Rydlo, 2010)

Na výše uvedeném obrázku 2.4 je vlevo pod bodem a) schéma přístroje RIGFAB s popisem jednotlivých částí, který osvětluje princip přístroje. Pravá část obrázku (b) je pak celkový pohled na přístroj.

2.5 Moment-curvature

Tato metoda je tzv. metodou převisu, kterou se zabýval mimo jiné T. G. Clapp a kol. Výzkumníci svoji výpočtovou metodu označili jako „*Indirect Measurement of the Moment-Curvature Relationship for Fabrics*“, ve volném překladu „*Nepřímá metoda měření vztahu momentu a křivosti tkanin*“. Principem metody je snímání a digitalizace souřadnic ohybové křivky, data se vyhodnocují za pomoci matematického modelu. Obdélníkový vzorek tkaniny zatížený vlastní silou vytvoří ohybovou křivku, která je snímána kamerou. Z křivky jsou odečteny hodnoty souřadnic x a y , jenž jsou dosazeny do matematického modelu – dojde k výpočtu ohybové tuhosti testované tkaniny. Aby byla metoda objektivní, je nutné, aby tkanina nevykazovala známky zkroucení či pomačkání. (Fridrichová, 2008)

2.6 Metoda podle B. Stříže

B. Stříž se ve své práci zabývá analytickým řešením ohybové tuhosti, kdy autor zjišťuje experimentálně maximální průhyb vlákna, příze či tenkého pásku textilie. K určení výsledné ohybové tuhosti EI využívá diferenciální rovnici průhybové čáry (viz. rovnice (2.5)):

$$\frac{d^2 w}{dx^2} = -\frac{M(x)}{EI} \quad (2.5)$$

kde: w posuv textilie kolmo na její počáteční polohu určenou osou x ,
 $M(x)$ ohybový moment v obecném bodě textilie v původní poloze.

Vzhledem k tomu, že dle autora je poměrně obtížné přesně stanovit ohybový moment $M(x)$, je rovnici nutno dále upravovat. Výpočet a odvození výsledné ohybové tuhosti EI je značně rozsáhlé, proto nebude v této práci uvedeno. (Stříž, 2002)

2.7 Metoda převisu

Na KHT je ohybová tuhost textilie zjišťována kromě využití přístroje TH-7 metodou převisu. Experiment se realizuje na prototypu přístroje, na jehož konstrukci se podílela L. Fridrichová. Jedná se o jednoduché a cenově poměrně nenákladné zařízení.

Přístroj je sestaven ze tří stolků – pohyblivého, nepohyblivého a stolku pro web kameru, které je propojena s počítačem pro okamžité ukládání pořízených snímků.

Princip měření je následující: čtvercový či kruhový vzorek je umístěn na první (nepohyblivý) stůlek tak, aby jeho druhá polovina ležela na sousedním pohyblivém stolku. Po spuštění kamery experimentátor sníží pohyblivý stůlek a kamera zaznamená ohyb do požadovaného adresáře v PC. Jeden vzorek se měří ve čtyřech polohách; po zaznamenání ohybu v první poloze je vzorek otočen ve směru hodinových ručiček o 90°. Ohybový úhel je měřen pomocí programu Nis Elements. Celá sestava pro měření ohybové tuhosti metodou převisu je pak znázorněna na obrázku 2.5. V pozadí obrázku se nachází pohyblivý a nepohyblivý stůlek, v popředí je web kamera. Jednotné modré pozadí umožňuje přesné měření úhlu v Nis Elements; minimalizování ruchů pořízených fotografií a zajišťuje dostatečný kontrast ke zkoumané tkanině. (Pech, 2010)



Obr. 2.5 Sestava pro měření ohybové tuhosti metodou převisu (Pech, 2010, str. 25)

V průběhu tvorby této práce došlo k úpravě stávající koncepce přístroje. Jednoduché stolky byly nahrazeny erudovanějšími, princip měření však zůstává stejný. Nově je vzorek zkoumané textilie snímán místo web kamery digitálním fotoaparátem, což do jisté míry přispěje k pořizování kvalitnějších snímků, se kterými se bude dále lépe pracovat.

3 Model struktury tkaniny

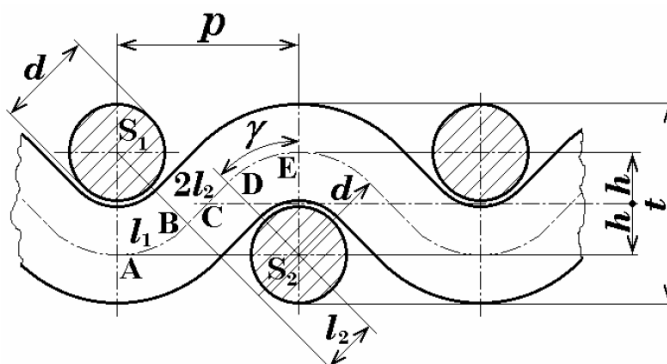
Na hodnocení struktury textilie lze nahlížet z různých úhlů pohledu. Je možné ji hodnotit subjektivně (tedy zrakem, hmatem,...) nebo objektivně (tzn. popisem parametrů měřitelnými veličinami, ...). Strukturu lze rovněž chápat jako geometrickou nebo vztahovou. Geometrická struktura používá k popisu textilie geometrické veličiny, vztahová pak popisuje i relace mezi součástmi zkoumaného celku (normálové a tečné síly, silové působení,...). (Kovář, 2003)

3.1 Geometrické modely tkaniny

Tkanina je tvořena dvěma soustavami nití (osnovy a útku), které jsou vzájemně provázané dle určité vazby. Ačkoliv jsou nitě v reálné tkanině deformovány, většina modelů uvažuje pro zjednodušení kruhový průřez zatkaných přízí. V následujících podkapitolách jsou uvedeny nejznámější geometrické modely vazných vln tkaniny. Čím přesnější bude model tkaniny, tím lépe bude možné vytvořit model textilie a predikovat její vlastnosti.

3.1.1 Peircův model

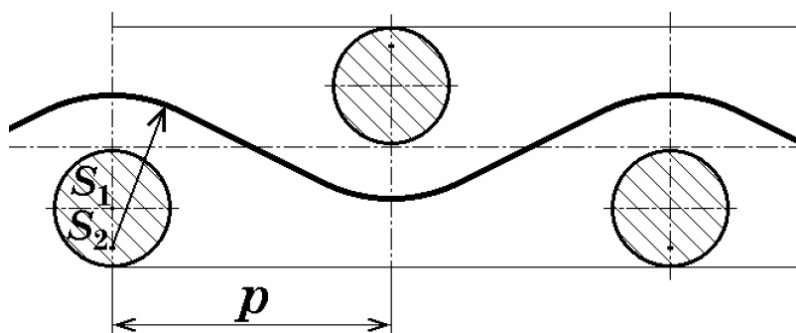
Peircův model vazné vlny (obr. 3.1) je často označován jako jednoduchý a zároveň klasický model, který zanedbává deformaci průřezů nití. Předpokladem modelu je, že tvar osy nitě ve vazném prvku je složen z kruhového oblouku a úsečky a to pro osnovu i útek. Dalším předpokladem je vyrovnaná tkanina se čtvercovou vazbou, kde tloušťka tkaniny t bude rovna dvojnásobku průměru nitě d , čili $t = 2d$.



Obr. 3.1 Model vazné vlny dle Peirce (Kovář, 2003, str. 62)

Symbolem h je pak na obr. 3.1 označena výška vazné vlny, l_1 je délkou oblouku, l_2 délkou úsečky, p je rozteč nití, γ odpovídá úhlu zvlnění. (Kovář, 2003)

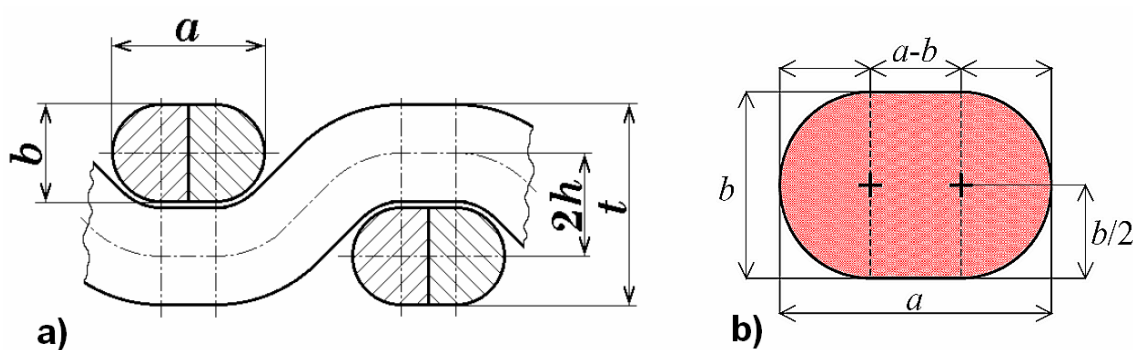
Úpravou Peircova modelu se zabývala na TUL J. Richterová (obr. 3.2); úprava spočívá v posunutí polohy středu oblouku osy nitě. Model lépe odpovídá realitě, neboť dle Kováře: „...do jisté míry respektuje nestejnoměrnou deformaci průřezu nitě.“



Obr. 3.2 Upravený Peircův model (Kovář, 2003, 63)

3.1.2 Kempův model

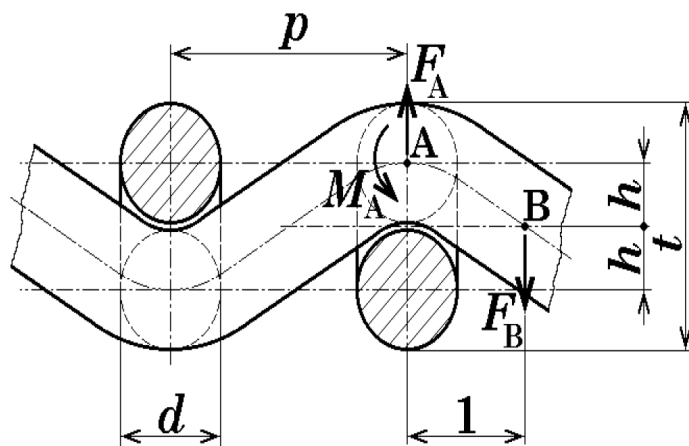
Kemp se ve svých pracích zabýval i problematikou deformace zatkané příze, resp. skupin sdružených nití. V některé literatuře je tento model označen jako „atletické dráhy“. Průřez nitě je složen ze dvou půlkruhů o poloměru $b/2$ a obdélníku o délce stran $b \times (a-b)$. (Kovář, 2003)



Obr. 3.3 a) Vazná vlna dle Kempa (Kovář, 2003, str. 55), b) Model průřezu příze (Neckář)

3.2 Mechanický model tkaniny

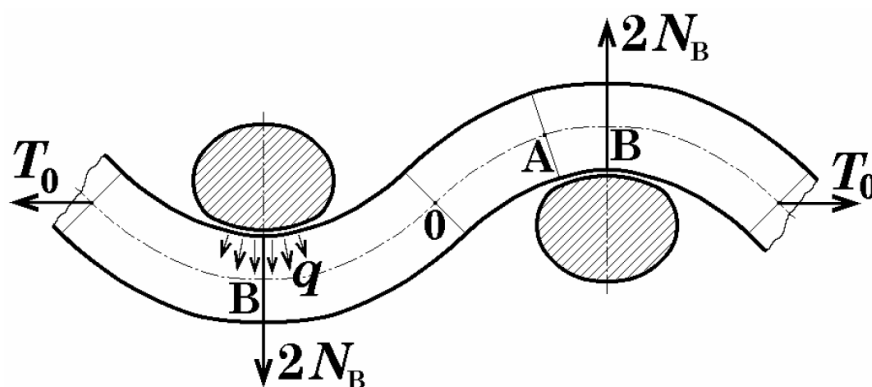
Výchozím předpokladem tohoto modelu je tkanina v plátňové vazbě z dokonale pružného materiálu. Tkanina je opět relaxovaná, průřez nití je kruhový; viz. obr. 3.4.



Obr. 3.4 Mechanický model vazné vlny tkaniny (Kovář, 2003, str. 76)

Popis obrázku 3.4: F_A svislá síla (s působištěm v bodu A, výslednice silového působení obou nití ve vazném prvku)
 F_B síla v inflexním bodu B
 M_A ohybový moment. (Kovář, 2003)

B. Oloffson vycházel při tvorbě svého mechanického modelu z poznatku, že po vyparáání textilie se nit napřímí jen částečně – část její deformace je trvalá. Schéma modelu vazné vlny je pak na obr. 3.5. (Kovář, 2003)



Obr. 3.5 Oloffsonův model vazné vlny (Kovář, 2003, 77)

3.3. Současný výzkum

Článek vědců Ch. G. Provatidise a S. G. Vassiliadise (univerzita v Aténách) porovnává klasické analytické modely tkanin (Peirce, Kemp,...) a jejich modifikace mezi sebou. Cílem výzkumu bylo určení, jak se jednotlivé modely liší od skutečnosti.

Zkoumané tkaniny, jednalo se o šest typů tkanin plátňové vazby, byly zalaty do pryskyřice a po jejím vytvrzení se rozřezaly na tenké proužky (proužky po směru osnovy i po útku). Takto zhotovené preparáty byly mikroskopovány, sejmuty kamerou a uloženy na disk. Na upravených snímcích (korekce kontrastu, šumů, atd.) se ručně měřil úhel mezi rovným úsekem vazné vlny a obloukem, ve který přechází. Zároveň byla potvrzena skutečnost, že narozdíl od většiny modelů mají zatkané příze většinou eliptický průřez (nikoliv kruh či ovál). Naměřené úhly byly porovnány s úhly, které lze získat výpočtem z jednotlivých modelů. (Provatidis, Vassiliadis, 2004)

Tab. 3.1 Naměřené hodnoty úhlů a porovnání s výpočtem pro daný model
(Provatidis, Vassiliadis, 2004, str. 442)

Sample	Actual measurements		Peirce		Models Saw-tooth		Peirce's appr.	
	$\theta_1(^{\circ})$	$\theta_2(^{\circ})$	$\theta_1(^{\circ})$	$\theta_2(^{\circ})$	$\theta_1(^{\circ})$	$\theta_2(^{\circ})$	$\theta_1(^{\circ})$	$\theta_2(^{\circ})$
1	33.22	27.36	20.01	7.99	19.00	7.78	25.44	10.22
2	34.21	32.53	26.79	22.77	24.00	20.03	32.60	26.90
3	38.50	35.02	24.61	21.45	22.27	19.34	30.09	25.92
4	32.47	32.20	20.56	20.23	19.02	18.62	25.47	24.92
5	32.41	38.75	30.65	33.74	26.06	27.15	35.66	37.30
6	29.06	35.71	18.44	33.53	16.98	28.28	22.64	39.02

Table III.
Actual measurements
and model data

Sample	Actual measurements		Peirce modified		Models Kemp	
	$\theta_1(^{\circ})$	$\theta_2(^{\circ})$	$\theta_1(^{\circ})$	$\theta_2(^{\circ})$	$\theta_1(^{\circ})$	$\theta_2(^{\circ})$
1	33.22	27.36	22.53	8.38	24.95	12.31
2	34.21	32.53	31.16	30.17	31.57	27.92
3	38.50	35.02	27.60	24.25	27.99	26.31
4	32.47	32.20	22.96	22.86	25.35	25.42
5	32.41	38.75	33.01	39.50	41.07	35.92
6	29.06	35.71	27.34	37.59	24.03	39.91

Table IV.
Kemp and the modified
Peirce models data

V tabulce výše (3.1) jsou patrné rozdíly mezi úhlem skutečným a naměřeným. Úhel θ_1 přísluší osnovní vazné vlně, θ_2 útkové. Jako nejvěrohodnější model se dle autorů článku jeví *Kemp*.


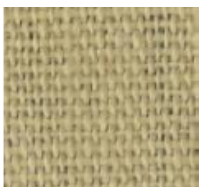

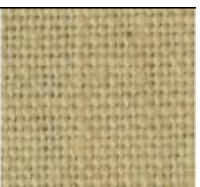

4 Praktická část

Praktická část diplomové práce navazuje a rozšiřuje dosavadní výzkum anizotropie ohybové tuhosti textilií L. Fridrichové. V práci jsou použita data, která byla pořízena při realizaci bakalářských a diplomových prací pod vedením L. Fridrichové.

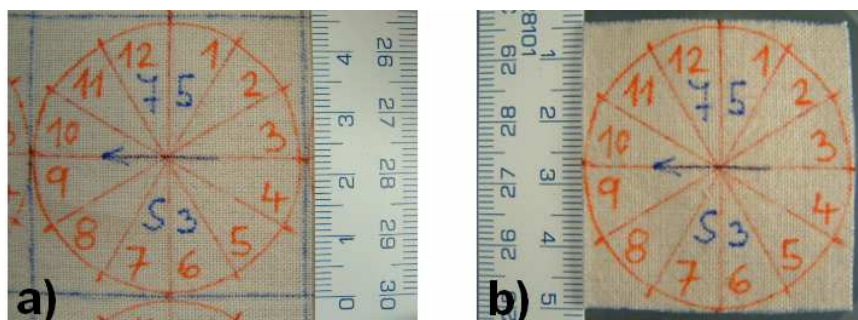
4.1 Popis zkoumaných textilií

Jedná se o tkaniny plátnové vazby s různou dostavou útku. U všech typů tkanin je dostava osnovy 22 nití/cm. Použita je bavlněná příze o jemnosti 29,5 tex, 590 zákrutů/m, zákrutu Z (levého směru). Fotografie vzorků s označením a dostavou útkových nití jsou zaznamenány v tabulce 4.1.

Tab. 4.1 Zkoumané tkaniny

S1	S2	S3	S4	S5
				
Dú = 9	Dú = 15	Dú = 19	Dú = 23	Dú = 25

Z tkanin byly nastříhány nejprve čtvercové vzorky (45 x 45 mm), na které byl vyznačen i základ kružnice potřebné k dalšímu experimentu a směrová růžice pro 16, resp. 12 směrů. Následovalo měření na přístroji TH-7 a metodou převisu. Pak byly vzorky zastříženy tak, aby ve výsledku měly tvar kruhu o průměru 45 mm. Ty byly opět proměřeny výše uvedenými metodami. Pro ilustraci je uveden obrázek 4.1; S3 je typ tkaniny, 75 je pořadové číslo vzorku.



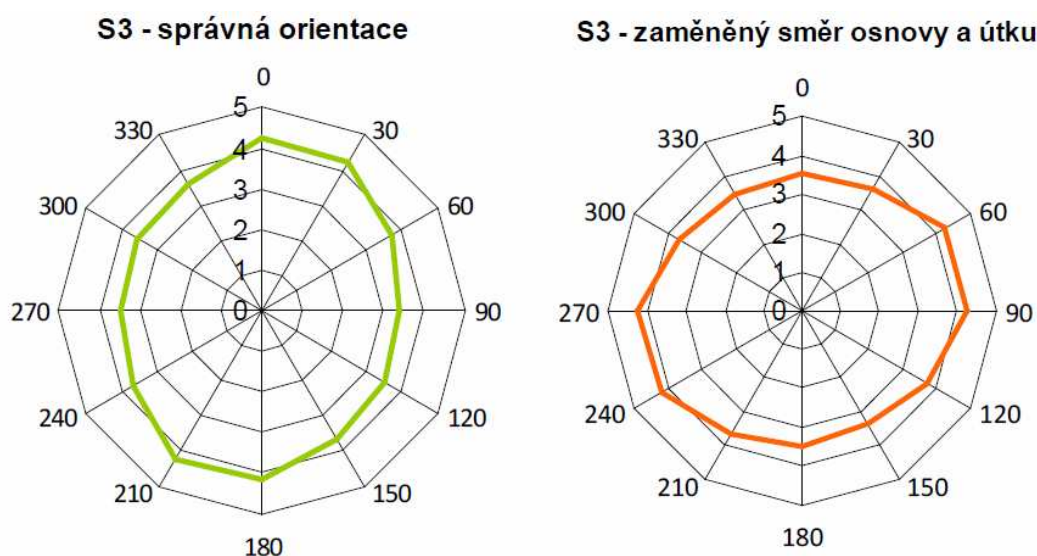
Obr. 4.1 a) Vzorek před nastříháním, b) Čtvercový vzorek

4.2 Vliv směru osnovy a útku na výsledné polární diagramy

Kruhové vzorky se na přístroji TH-7 měří po směru hodinových ručiček postupně od čísla 12 ($0^\circ = 360^\circ$) až k číslu 11 (resp. 16 až 15, viz. měření L. Fridrichové). Pomyslná spojnice čísel 12 a 6 naznačuje směr osnovy, 3 a 9 pak analogicky směr útku (u výše uvedeného obrázku 4.1 je to však naopak, směr osnovy je naznačen modrou šipkou).

V rukopisu habilitační práce L. Fridrichové je uveden experiment, ve kterém se zjišťuje, zda záleží na pořadí, v němž se šestnáct směrů kruhového vzorku proměřuje. Tato úvaha nebyla po vyhodnocení měření potvrzena.

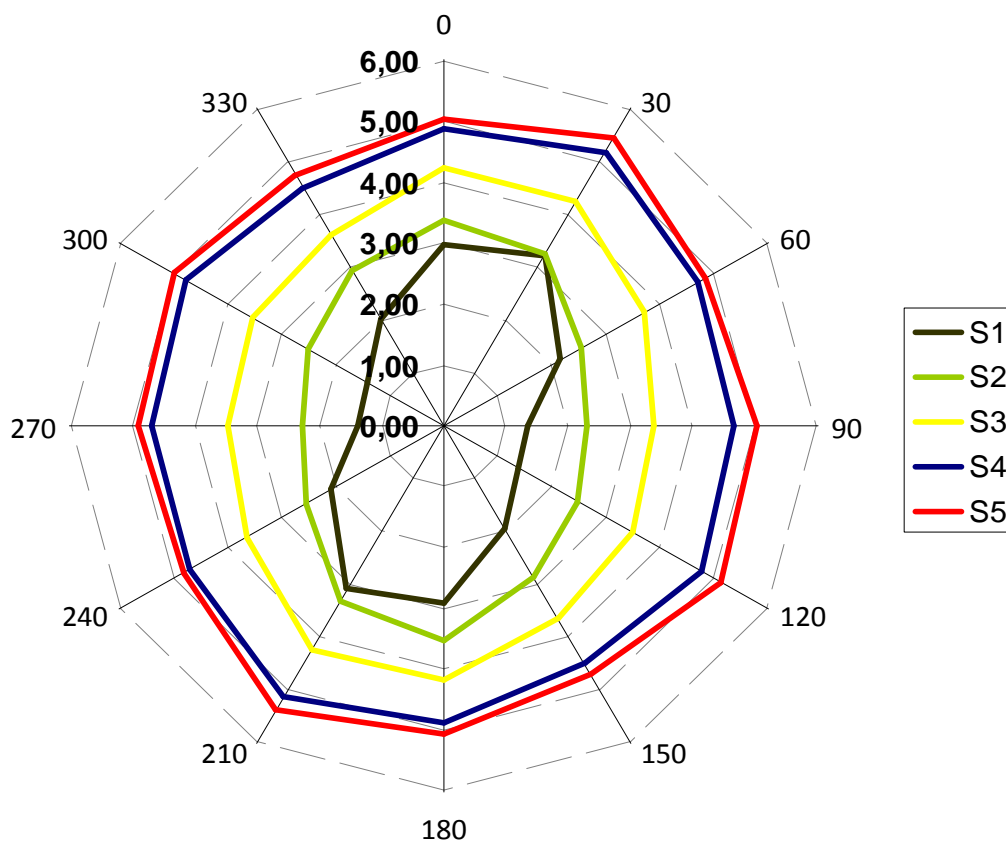
Ačkoliv na pořadí měření nezáleží, do polárního diagramu je nutné zaznamenávat hodnoty v odpovídajícím pořadí $0^\circ - 330^\circ$ (příp. $0^\circ - 337,5^\circ$). V tomto případě se na diagramu projevuje směr osnovy a útku, respektive vliv dostavy obou soustav na výsledné hodnoty ohybové síly.



Obr. 4.2 Zaměnění směru osnovy a útku

Z obrázku 4.2 vyplívá, jak je důležité dodržet směr osnovy a útku; rovněž je vhodné dodržet stejnou orientaci všech vzorků, tzn. neotočit nějaký vzorek horizontálně či vertikálně. Experimentátor by měl pečlivě popsat všechny vzorky před nastříháním a zkontrolovat směr osnovy a útku zkoumané tkaniny, neboť špatnou orientací vzorku vychází zdánlivě nesmyslné výsledky. Je patrné, že vyšší dostava osnovy než útku dodá diagramu protáhlý tvar ve vertikálním směru. Rovněž je zajímavé sledovat, jak se

vlivem zvyšujícího se počtu útkových nití mění obrazec diagramu z vertikálně orientovaného na téměř kruhový. Zároveň dochází ke zvyšování ohybové tuhosti (síly) vzorku, což je zřejmě způsobeno rostoucím počtem zatkaných nití. Tato situace je demonstrována obrázkem 4.3.



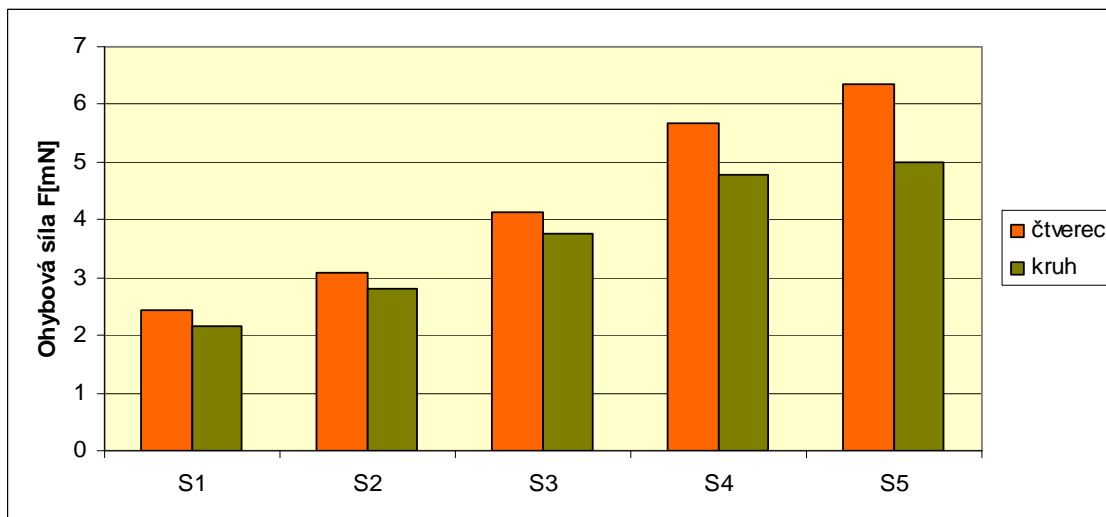
Obr. 4.3 Anizotropie ohybových sil pro vzorky S1 – S5 (plátno)

4.3 Porovnání ohybových sil čtvercových a kruhových vzorků (TH-7)

Vlivem zastřížení čtvercového vzorku na kruhový dojde pochopitelně k zmenšení jeho plochy. Výpočtem bylo zjištěno, že tento rozdíl činí zhruba 21,5 %. Na obrázku 4.4 je graf znázorňující průměrné hodnoty ohybových sil čtvercových a kruhových vzorků. Grafy na obrázcích 4.5 a 4.6 zobrazují průměrné hodnoty ohybových sil pro osnovu a útek.

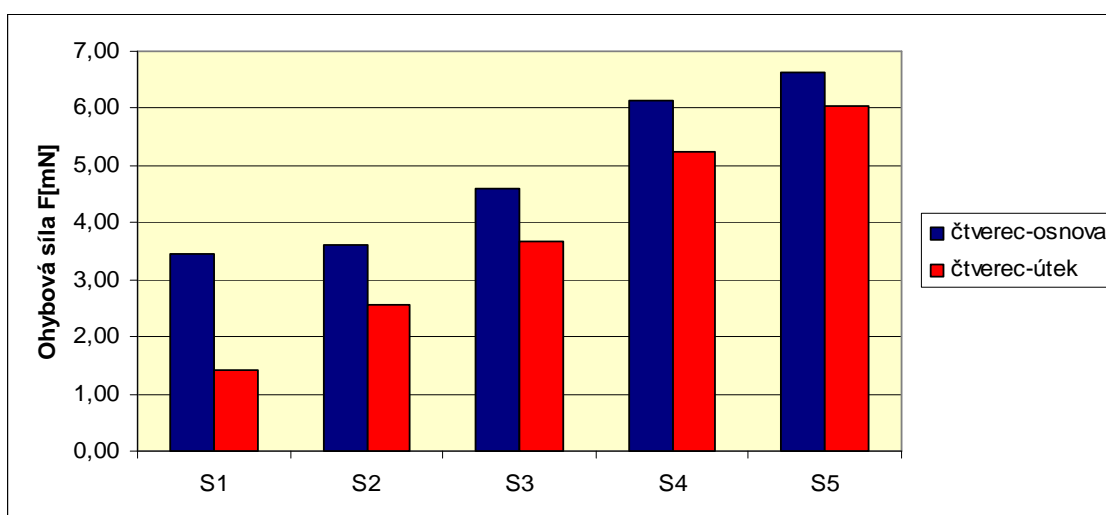
Z grafů je patrné, že zmenšením plochy dojde ke snížení ohybových sil zkoumaných textilií, které ovšem není konstantní. Snížení ohybové síly u kruhových vzorků je dáno patrně i tím, že experimentátor neměřil ohybovou sílu v polovině vzorku, ale s určitým posunem, jak je popsáno v kapitole 4.4 *Porovnání experimentů*.

Došlo tak nejen ke zmenšení plochy, ale i k úbytku vazných bodů v měřeném místě. Nejvyšší propad ohybové síly je patrný u vzorku s označením S5, kde rozdíl mezi hodnotami činí 1,34 mN.



Obr. 4.4 Průměrné hodnoty ohybových sil

Na obrázku 4.4 je graf porovnávající průměrné hodnoty ohybových sil, které byly naměřeny pro kruhové a čtvercové vzorky na přístroji TH-7. Výslednou sílu ovlivní kromě výše popsaného snížení počtu vazných bodů také i tvar průřezu nitě ve vazném bodu. Ten se bude měnit se vzrůstající dostavou útku (deformace průřezu).

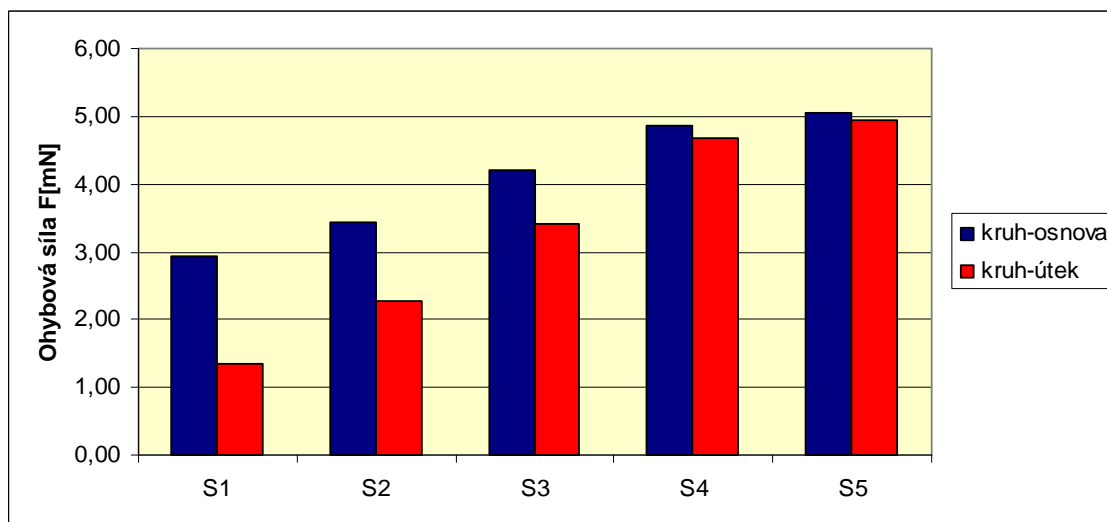


Obr. 4.5 Průměrné hodnoty ohybové síly pro čtvercové vzorky

Ohybová síla (tuhost) je ve směru osnova vždy vyšší než ve směru útku. To může být způsobeno kromě deformace průřezu i vyšším napětím osnovních přízí. Tento

předpoklad vychází z principu tkaní, kdy osnovní nitě bývají napnutější než útkové. V případě vzorků S4 a S5 „kruh“ se ohybové síly po osnově a po útku liší o pár desetin. U typu „čtverec“ je odchylka větší.

Naopak nejmarkantnější snížení ohybové síly je po útku a to u obou typů vzorků S1, které je nejspíše způsobeno nejnižší dostavou útku.



Obr. 4.6 Průměrné hodnoty ohybové síly pro kruhové vzorky

4.3.1 Statistické vyhodnocení naměřených hodnot – přístroj TH-7

Hodnoty ohybových sil, které byly naměřeny na kruhových a čtvercových vzorcích, byly zpracovány v programu MS Excel. V tabulkách 4.2a, b (čtvercové vzorky) a 4.3 (kruhové vzorky) jsou uvedeny výsledné hodnoty statistických charakteristik; jmenovitě průměr, směrodatná odchylka, rozptyl, variační koeficient (%) a horní a dolní mez intervalu spolehlivosti. Vzhledem k tomu, že se jedná o běžně používané charakteristiky, nebudou zde uvedeny jednotlivé postupy výpočtů.

Tab. 4.2a Vyhodnocení čtvercových vzorků - osnova

Osnova [mN]					
Charakteristika	S1	S2	S3	S4	S5
Průměr	3,45	3,62	4,59	6,08	6,63
Směrodatná odchylka	0,26	0,22	0,30	0,46	0,59
Rozptyl	0,07	0,04	0,09	0,20	0,33
Variační koeficient	7,54	6,08	6,54	7,55	8,70
95% IS horní mez	3,62	3,77	4,80	6,39	7,03
95% IS dolní mez	3,27	3,46	4,38	5,75	6,22

Tab. 4.2b Vyhodnocení čtvercových vzorků - útek

Útek [mN]					
Charakteristika	S1	S2	S3	S4	S5
Průměr	1,43	2,55	3,69	5,23	6,05
Směrodatná odchylka	0,14	0,20	0,24	0,49	0,50
Rozptyl	0,02	0,04	0,06	0,23	0,23
Variační koeficient	9,79	7,84	6,50	9,36	8,26
95% IS horní mez	1,53	2,69	3,85	5,56	6,39
95% IS dolní mez	1,33	2,41	3,52	4,89	5,71

Tabulky potvrzují a doplňují komentáře ke grafům – ohybové síly naměřené po směru útku dosahují nižších hodnot než po směru osnova. Vzestupný trend ohybových sil vzhledem ke zvyšující se dostavě útkových nití je pro čtvercové i kruhové vzorky shodný, ale kruhové vzorky vykazují nižší hodnoty ohybové síly, což je patrně zapříčiněno odlišnou plochou (počty vazných bodů).

Tab. 4.3 Vyhodnocení kruhových vzorků – osnova a útek

Osnova [mN]					
Charakteristika	S1	S2	S3	S4	S5
Průměr	2,93	3,44	4,19	4,87	5,04
Směrodatná odchylka	0,20	0,25	0,39	0,29	0,44
Rozptyl	0,04	0,06	0,15	0,08	0,19
Variační koeficient	6,83	7,27	9,31	5,60	8,73
95% IS horní mez	2,98	3,50	4,28	4,94	5,14
95% IS dolní mez	2,89	3,38	4,10	4,80	4,94

Útek [mN]					
Charakteristika	S1	S2	S3	S4	S5
Průměr	1,36	2,29	3,40	4,67	4,96
Směrodatná odchylka	0,11	0,20	0,25	0,28	0,43
Rozptyl	0,01	0,04	0,06	0,08	0,19
Variační koeficient	8,09	8,73	7,35	5,60	8,67
95% IS horní mez	1,38	2,33	3,46	4,74	5,06
95% IS dolní mez	1,33	2,24	3,34	4,60	4,85

Vzhledem k tomu, že hodnoty variačních koeficientů se pohybují pod hranicí 10 %, lze o pořízených datech říci, že mají nízkou variabilitu. S ohledem na nízké hodnoty charakteristik variability lze průměrné hodnoty označit za typické.

Dále byl proveden test významnosti rozdílu dvou výběrových průměrů, tedy tzv. t-test. Vzhledem k tomu, že cílem testování bylo zjistit, zda-li ohybové síly dvou typů vzorků (kruhových a čtvercových) jsou stejné či nikoli, byl pro testování použit dvouvýběrový t-test. Předpokladem jsou dva výběry o rozsahu: n_1 a n_2 se středními

hodnotami M_1 a M_2 a rozptyly S_1^2 a S_2^2 . Data mají normální rozdělení s parametry $N(m_1; s_1^2)$ a $N(m_2; s_2^2)$, kde m reprezentuje střední hodnotu a s^2 rozptyl.

Testování bylo realizováno následovně (viz. Opitka, Šmajstrala, 2010):

- ✓ stanovení nulové a alternativní hypotézy
- ✓ volba hladiny významnosti
- ✓ volba a výpočet testovacího kritéria
- ✓ určení kritických hodnot testovacího kritéria
- ✓ doporučení (tj. zamítnutí nebo přijmutí nulové hypotézy)

V tomto případě (viz. Opitka, Šmajstrala, 2010):

- ✓ nulová hypotéza: $H_0 : m_1 = m_2$
- ✓ alternativa: $H_1 : m_1 \neq m_2$
- ✓ předpoklad: $s_1 = s_2$ (ověřeno F-testem)
- ✓ testovací kritérium:
$$T = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}},$$

Studentovo rozdělení $t_p(n_1 + n_2 - 2)$
- ✓ hladina významnosti: $p = 0,05$
- ✓ zamítnutí hypotézy: $|T| > t_p$

Výsledky F-testu, resp. hodnoty testovacího kritéria a kritických hodnot jsou uvedeny v tabulce 4.4.

Tab. 4.4 Výsledky F-testu

Hodnota	S1	S2	S3	S4	S5
Test. kritérium $F - o$	0,30	1,29	1,50	0,35	0,45
Test. kritérium $F - ú$	0,57	0,85	0,75	0,22	0,67
Kritická hodnota $F_{krit.}$	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63

Vzhledem k tomu, že testovací kritérium $F - o$ (pro osnovu) i $F - ú$ (pro útek) dosahuje nižších hodnot než kritická hodnota $F_{krit.}$, je možné přijmout předpoklad, že $s_1 = s_2$ – hypotéza o shodě rozptylů je přijata.

Na základě výsledků F-testu byly hodnoty ohybových sil osnovy a útku jednotlivých typů vzorků S1 – S5 testovány dvouvýběrovým t-testem v programu MS Excel. Hodnoty testovacích kritérií a kritických hodnot pro osnovní a útkové ohybové síly jsou zaznamenány v tabulce 4.5.

Tab. 4.5 Výsledky t-testu

Hodnota	S1	S2	S3	S4	S5
Test. kritérium $t - o$	-14,60	-8,92	-10,75	-21,16	-17,16
Test. kritérium $t - ú$	-4,45	-7,94	-8,33	-10,70	-14,14
Kritická hodnota $t_{krit.}$	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98

Z tabulky je patrné, že absolutní hodnoty testovacích kritérií $t - o$ a $t - ú$ překročili kritickou hodnotu $t_{krit.}$. Nelze tedy přijmout nulovou hypotézu H_0 ; ohybové síly naměřené pro kruhové a čtvercové vzorky se po osnově i po útku liší.

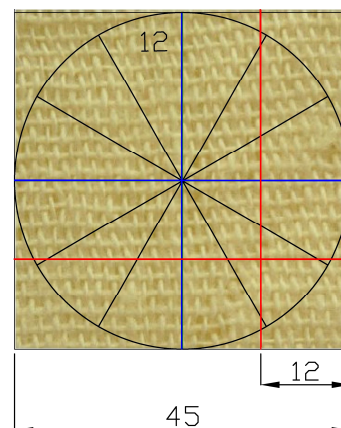
Tab. 4.6 Ukázka t-testu (vzorek S2)

Osnova			Útek		
	kruh	čtverec		kruh	čtverec
Stř. hodnota	3,432394	3,804762	Stř. hodnota	2,290141	2,573016
Rozptyl	0,064793	0,050783	Rozptyl	0,03833	0,046841
Pozorování	71	63	Pozorování	71	63
Společný rozptyl	0,058213		Společný rozptyl	0,042327	
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0		Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	132		Rozdíl	132	
t stat	-8,91683		t stat	-7,94384	
P(T<=t) (1)	1,71E-15		P(T<=t) (1)	3,79E-13	
t krit (1)	1,656479		t krit (1)	1,656479	
P(T<=t) (2)	3,42E-15		P(T<=t) (2)	7,58E-13	
t krit (2)	1,978099		t krit (2)	1,978099	

Tabulka 4.6 zobrazuje hodnoty dvouvýběrového t-testu s rovností rozptylů tak, jak byly vypočteny pomocí Excelu. Barevně odlišené hodnoty odpovídají sledovaným kritériím. Testováním byla potvrzena hypotéza, že výsledky měření kruhových a čtvercových vzorků jsou odlišné nejen po stránce vizuální (viz. uvedené sloupcové grafy), ale i po stránce statistické.

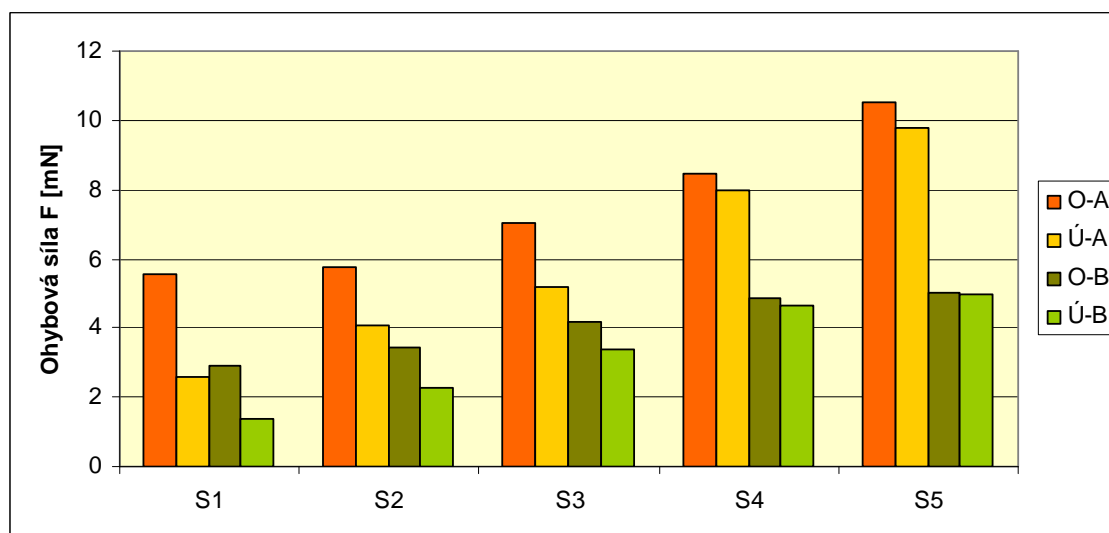
4.4 Porovnání experimentů – změna místa měření ohybové síly na přístroji TH-7

Tato kapitola je zaměřena na porovnání měření dvou experimentů, které byly realizovány na kruhových vzorcích. V experimentu A byla ohybová síla na přístroji TH-7 měřena standardním způsobem, tj. že vzorek byl upnut do pohyblivé čelisti tak, aby měřeným místem byla spojnice protilehlých bodů směrové růžice – střed vzorku. V experimentu B byl vzorek upnut do čelisti právě v místě této spojnice, čímž došlo k posunu měřeného místa. Pro ilustraci obou případů je uveden obrázek 4.7.



Obr. 4.7 Místa měření

Na již zmíněném ilustračním obrázku 4.7 je skica vzorku (45 x 45 mm) s vyznačením směrové růžice (vykresleno černě). Číslo dvanáct symbolizuje směr osnovy, modré úsečky stanovují přibližně měřené místo popsané jako experiment A. Červené linie označují místa měření při experimentu B – od kraje vzorku jsou vzdáleny cca 12 mm. Při experimentu B je ohybu vystavena menší plocha, než tomu bylo v experimentu A.



Obr. 4.8 Porovnání ohybových tuhostí obou experimentů

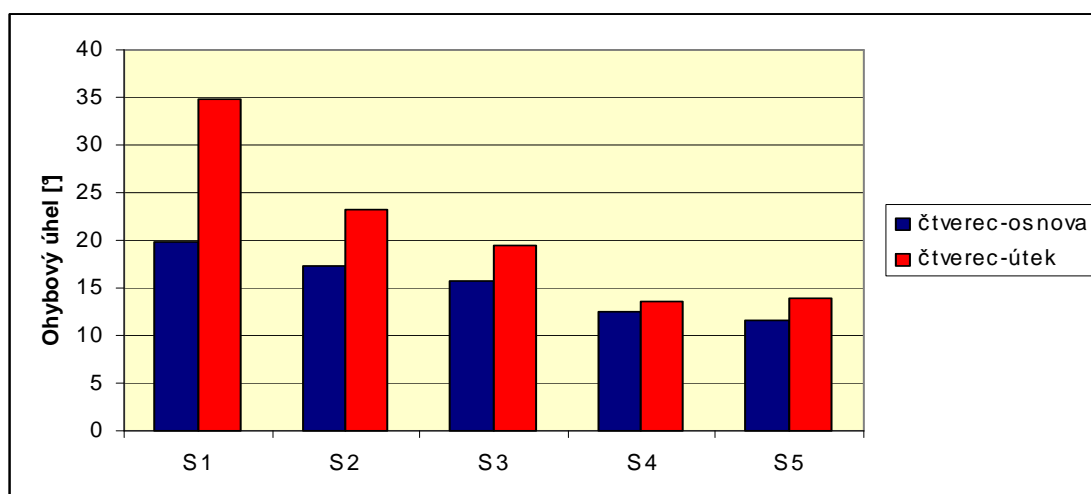
Na obrázku 4.8 je graf porovnávající průměrné výsledky obou experimentů. K legendě grafu: O-A a O-B označuje ohybovou sílu naměřenou po osnově při

experimentu *A* a *B*, analogicky pak \bar{U} -A a \bar{U} -B označuje ohybovou sílu měřenou po útku. Z výše uvedeného grafu je patrné, že při experimentu *B* vykazují vzorky nižší ohybovou sílu. Pokles je způsoben snížením počtu vazných bodů. Pro objektivnost výsledků, vzhledem k jejich možnému porovnání jinými měřeními, je samozřejmě vhodné zvolit způsob měření popsáný jako experiment *A*.

4.5 Měření ohybové tuhosti metodou převisu

Ohybová tuhost výše popsaných tkanin byla vyšetřována i metodou převisu, jenž je popsána v kapitole 2.7 *Metoda převisu*; měření bylo realizováno na čtvercových i kruhových vzorcích. I zde je nutné, aby experimentátor nezaměnil směr osnovy a útku. Měření metodou převisu je časově náročnější než měření ohybové tuhosti na přístroji TH-7. Z fotografií tkanin je potřeba nejdříve „ručně“ zjistit ohybový úhel a posléze dopočítat ohybovou tuhost (nejlépe prostřednictvím SW).

Na obrázku 4.9 a 4.10 jsou grafy průměrných hodnot naměřených ohybových úhlů. Zatímco u čtvercových vzorků je patrný sestupný trend hodnot (výjimku tvoří útek u vzorku S5, lze zanedbat), u kruhových vzorků je patrné zvětšení ohybového úhlu u vzorku S3 – osnova (téměř o dva stupně) a u vzorku S2 – osnova, který je možno rovněž zanedbat.

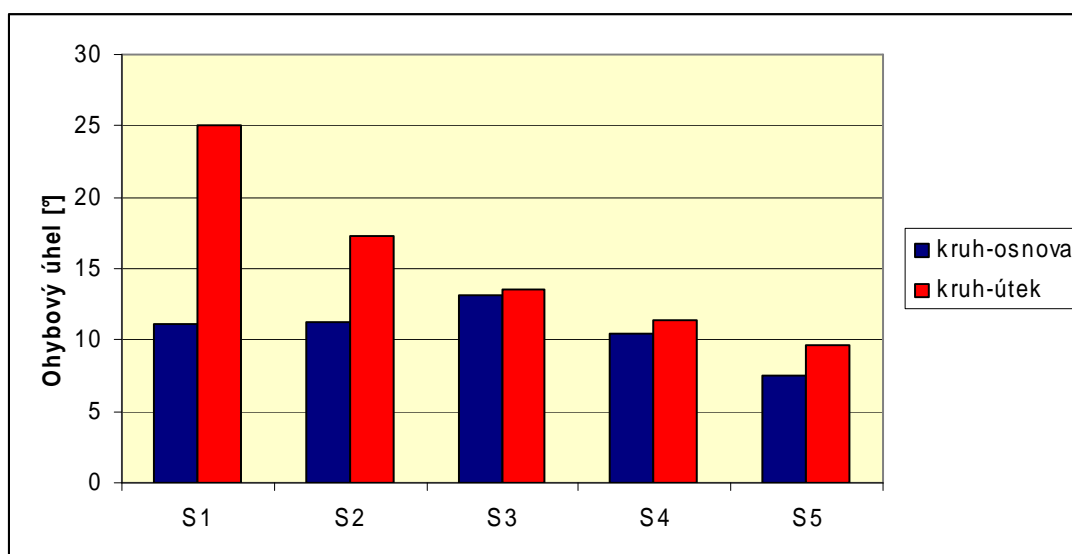


Obr. 4.9 Průměrné ohybové úhly čtvercových vzorků

Sestupný trend ohybových úhlů je logicky vysvětlitelný. Ohybovou tuhostí je myšlen odpor textilie vůči ohýbání. Jak je patrné z předešlých kapitol – vyšší dostava do

určité míry zapříčiní i vyšší ohybovou tuhost. Zatímco tkaniny s nižší dostavou vykazují menší odpor proti ohybu, hustěji dostavené tkaniny o stejném materiálovém složení vykazují odpor větší. Tkaniny s vyšší dostavou jsou méně poddajné, tím pádem bude i ohybový úhel menší než u tkanin s nižší dostavou.

Původní data bylo potřeba důkladně zkontrolovat. Lidský faktor při měření není neomylný – došlo tak k záměně hodnot pro ohybové úhly naměřené po osnově s úhly naměřenými po útku. Správně zařazená data vykazují vyšší hodnoty ohybových úhlů ve směru útku a tím potvrzují výše uvedené předpoklady.



Obr. 4.10 Průměrné ohybové úhly kruhových vzorků

V případě obrázku 4.10 dochází k již zmíněnému nesouladu mezi ohybovými úhly osnovy a útku. Zatímco ohybové úhly měřené po útku vykazují předpokládaný klesající trend, u tkaniny s označením S3 dochází ke zvětšení úhlu. Tento jev je možné vysvětlit buď jako chybu experimentátora, nebo tím, že byl proměřen nedostatečný počet vzorků. Vzhledem k tomu, že zastřížením vzorku na kruhový je vzorek prakticky znehodnocen pro případné opakované měření předchozími metodami a zároveň je zjišťování ohybové tuhosti metodou převisu časově velmi náročné, bylo proměřováno méně kruhových vzorků, než tomu bylo v případě vzorků čtvercových.

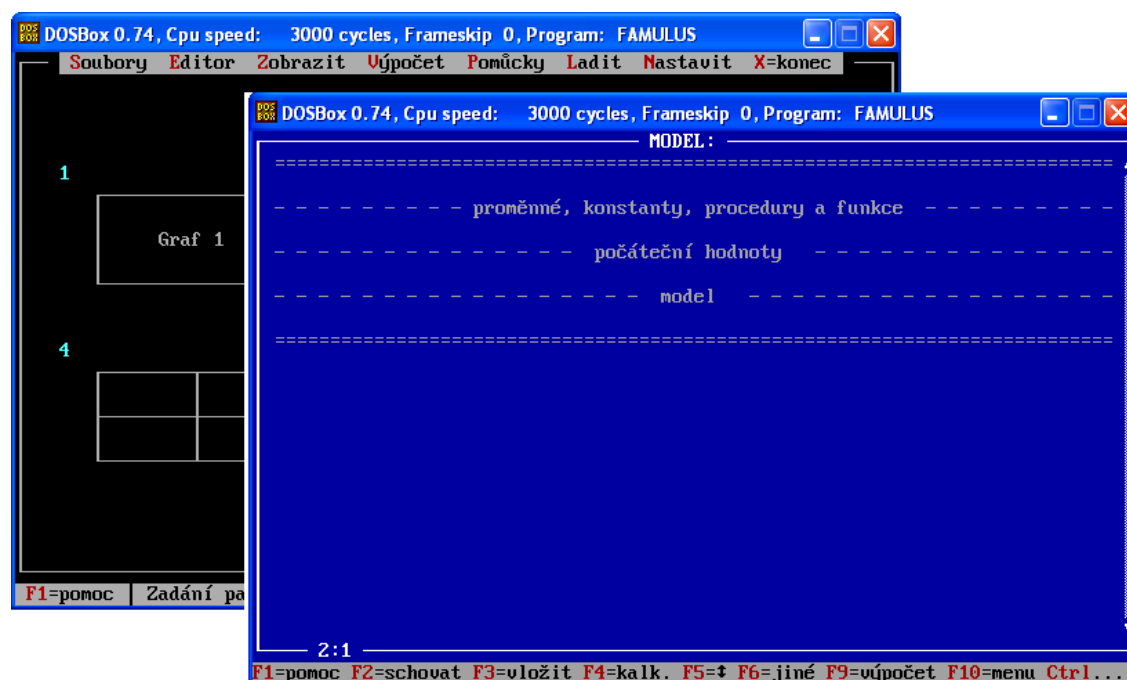
Za povšimnutí stojí též fakt, že průměrné hodnoty ohybových úhlů osnovy pro kruhové vzorky typu S1, S2 a S4 se pohybují v rozmezí hodnot 10,5°- 11,29°; tedy poměrně blízko sebe, naopak průměrné hodnoty ohybových úhlů pro vzorky

s označením S3 a S5 vybočují. Došlo tedy zřejmě k záměně typů vzorků vlivem nepozornosti experimentátora, neboť data nesplňují očekávaný trend. Je nepravděpodobné, že by pro vzorky s rozdílnou dostavou (ale stejným materiálovým složením) byly ohybové úhly prakticky totožné.

V případě dat pořízených na přístroji TH-7 bylo možné díky přehlednému zápisu a dostatečnému množství naměřených hodnot utřídit je tak, aby odpovídala správné orientaci tkaniny. V případě dat pořízených pro kruhové vzorky metodou převisu je rozdíl mezi hodnotami získanými po osnově nepatrný – data nelze třídit jako v předešlém případě.

4.5.1 Statistické vyhodnocení naměřených dat – metoda převisu

I výsledky měření získané metodou převisu byly statisticky zpracovány. V následujících tabulkách a obrazech jsou zachyceny hodnoty ohybových tuhostí, které byly vypočteny prostřednictvím programu Famulus, který bude dále popsán.

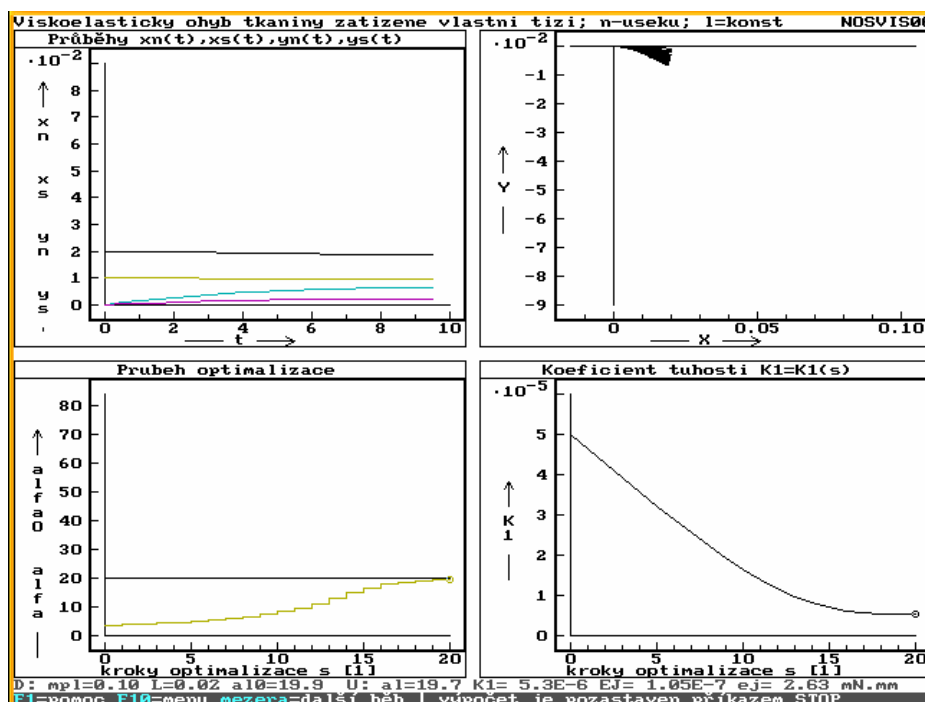


Obr. 4.11 Programové prostředí FAMULUS

Na obrázku 4.11 je pohled na programové prostředí Famulus. Jedná se o volně dostupný program vyvinutý v ČR jako systém pro podporu výuky matematiky

a fyziky; program se vyznačuje poměrně snadným programovacím jazykem (obdoba Pascalu). Z dnešního pohledu se jako problém může jevit nemožnost spuštění Famula bez systému MS – DOS. Tento „detail“ lze obejít nainstalováním např. programu DOSbox, který emuluje v běžně užívaných operačních systémech (Windows, Linux,...) skutečný DOS. Famulus není do uživatele PC instalován – tvoří vlastně adresář, který se spustí právě pomocí DOSboxu. (Koupil, 2006)

K obrázku 4.11 je záhodno dodat, že se jedná o ilustrační obrázek (dva překryté výřezy), nikoliv o reálný pohled na monitor PC po spuštění Famulu (resp. DOSboxu). Obrázek v pozadí ukazuje Famula tak, jak se po spuštění v DOSboxu zobrazí. Pokud uživatel zvolí záložku *Editor*, dostane se do prostředí označeném jako *Model* (obrázek v popředí), v němž se vytvoří model (program) pro výpočet dané situace (v tomto případě pro výpočet ohybové tuhosti). Při výpočtu ohybové tuhosti je výstupem série grafů a hledané hodnoty tuhosti, jak dokládá obrázek 4.12. Vzhledem k tomu, že „pracovní plocha“ Famulu je černá, je obr. 4.12 negativem původního zobrazení. Důvodem je zlepšení čitelnosti a prezentace výsledků.



Obr. 4.12 Ukázka výpočtu ohybové tuhosti v prg. Famulus

Tabulky 4.7 (čtvercové vzorky) a 4.8a, b (kruhové vzorky) tvoří statistická analýza hodnot ohybových tuhostí získaných výpočtem v programu Famulus.

Tab. 4.7 Výsledné ohybové tuhosti pro vzorky typu čtverec

Osnova [mN.mm]					
Charakteristika	S1	S2	S3	S4	S5
Průměr	2,82	4,52	4,82	7,10	8,48
Směrodatná odchylka	0,64	1,30	0,45	1,09	2,10
Rozptyl	0,41	1,69	0,21	1,19	4,41
Variační koeficient	22,67	28,85	9,49	15,33	24,77
95% IS horní mez	3,13	5,15	5,05	7,65	9,58
95% IS dolní mez	2,51	3,88	4,60	6,55	7,38

Útek [mN.mm]					
Charakteristika	S1	S2	S3	S4	S5
Průměr	1,28	2,63	3,88	6,55	7,07
Směrodatná odchylka	0,09	0,24	0,51	0,71	1,37
Rozptyl	0,01	0,06	0,26	0,51	1,87
Variační koeficient	7,11	8,94	13,02	10,90	19,37
95% IS horní mez	1,32	2,52	4,13	6,90	7,78
95% IS dolní mez	1,23	2,45	3,63	6,19	6,35

Vysoké hodnoty variačních koeficientů poukazují na vyšší variabilitu zkoumaných hodnot oproti metodě s použitím přístroje TH-7. Popsaný jev lze odůvodnit již zmíněným kroucením vzorku při testování metodou převisu; při zjišťování ohybového úhlu mohou tyto nepřesnosti činit problémy.

V tabulce 4.8a, b jsou uvedeny průměrné hodnoty ohybových tuhostí e_j [mN.mm] pro vzorky typ – kruh. Data mají rovněž vyšší variabilitu a navíc hodnoty ohybových úhlů obsahovaly na první pohled patrná vybočující prvky. Tento poznatek byl ověřen prostřednictvím krabicových grafů a regulačních diagramů individuální hodnoty (naměřené hodnoty lze takto ověřovat pouze za předpokladu, že data jsou normálního rozdělení). Hodnoty ohybových úhlů, o kterých bylo zjištěné, že vybočují, nebyly přepočítány na ohybovou tuhost ani dále statisticky zpracovávány.

Tab. 4.8a Výsledné ohybové tuhosti pro vzorky typu kruh - osnova

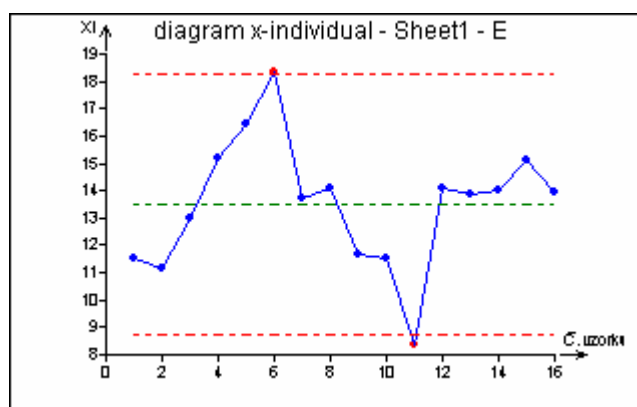
Osnova [mN.mm]					
Charakteristika	S1	S2	S3	S4	S5
Průměr	5,37	7,16	5,74	8,84	12,77
Směrodatná odchylka	1,19	2,03	0,72	1,38	1,72
Rozptyl	1,42	4,11	0,51	3,36	2,97
Variační koeficient	22,30	28,27	12,46	20,73	13,50
95% IS horní mez	5,94	8,22	6,11	9,74	13,64
95% IS dolní mez	4,74	6,11	5,36	7,95	11,89

Tab. 4.8b Výsledné ohybové tuhosti pro vzorky typu kruh - útek

Útek [mN.mm]					
Charakteristika	S1	S2	S3	S4	S5
Průměr	1,93	3,87	6,02	7,95	9,95
Směrodatná odchylka	0,44	0,86	0,54	1,17	2,41
Rozptyl	0,19	0,74	0,29	1,38	5,83
Variační koeficient	22,56	22,31	9,06	14,76	24,28
95% IS horní mez	2,16	4,29	6,30	8,52	11,22
95% IS dolní mez	1,70	3,44	5,74	7,37	8,68

Ačkoliv vybočující data byla z výběrů odstraněna, hodnoty variačních koeficientů jsou i nadále poměrně vysoké, hranici deseti procent nepřesahuje jen jeden typ vzorku a to S3 – útek. Zatímco hodnoty ohybových tuhostí, které byly naměřeny po útku splňují očekávaný rostoucí trend, u vzorků zkoumaných ve směru osnovy dochází k již zmíněným odchylkám. Vzorky S2 – S3 nevykazují očekávaný trend; příčinou je patrně chyba experimentátora. Není pravděpodobné, že by totožné vzorky měly dosahovat odlišných trendů vlivem testování na jiné aparatuře (TH-7 vs. metoda převísem).

Na obrázku 4.13 je příklad regulačního diagramu; data byla zpracována v programu QC -Expert, jenž je možné volně stáhnout v podobě třicetidenního trialu. Červené body signalizují překročení regulačních mezí, které jsou vyznačeny červenou čárkovanou čarou. Zelená čárkovaná čára symbolizuje centrální linii. Variabilita dat je patrná na první pohled – data neleží u centrální linie, ale jsou rozptýlená. Regulační diagramy pro kruhové vzorky S1 – S5 pro osnovu i útek jsou k vidění v příloze 3.



Obr. 4.13 Ukázka regulačního diagramu vytvořeného v programu QC-Expert

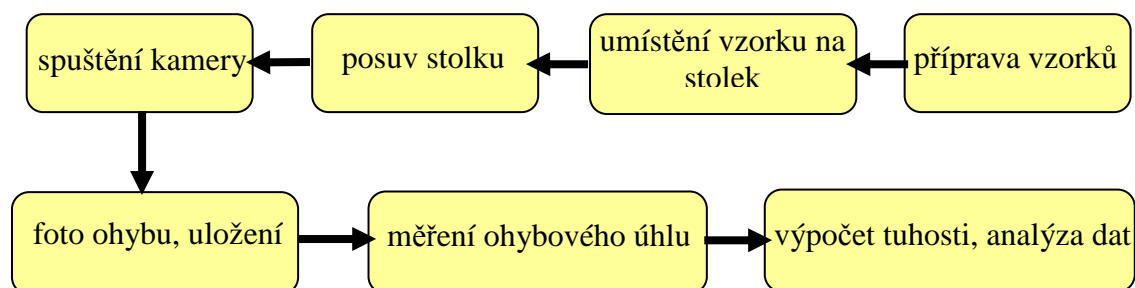
4.6 Porovnání metod měření – TH-7 vs. metoda přewisem

Ačkoliv součástí této diplomové práce nebylo pořizování dat (data byla získána v rámci realizace jiných prací na KHT), při jejich analyzování a zkoumání principu měření vyplynuly klady a zápory jednotlivých metod, jenž jsou uvedeny v tabulce 4.9.

Tab. 4.9 Výhody a nevýhody obou metodik

TH-7		PŘEVIS	
☑	☒	☑	☒
-získání dat ohybových sil	-měření pouze v laboratoři	-jednoduchá konstrukce	-získání snímků ohybu textilie
-data snadno a rychle statisticky zpracovatelná	-výsledkem je ohybová síla	-měření je možné realizovat prakticky kdekoli	-odečtený ohybový úhel → přepočet na tuhost
			-časová náročnost

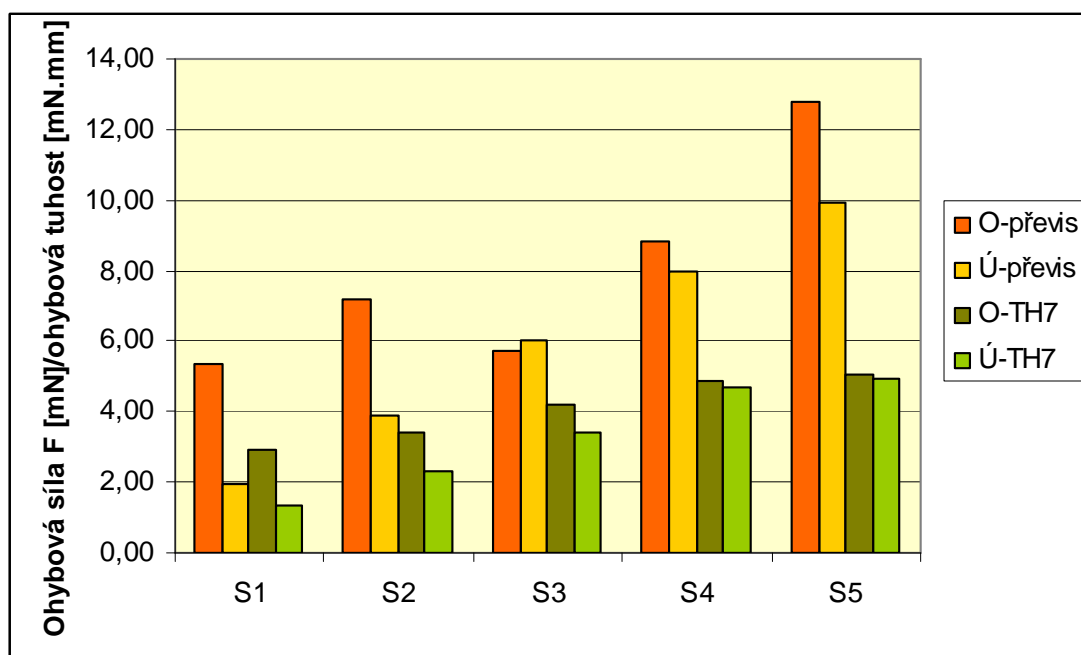
U obou typů měření je rizikem chyba experimentátora, které se věnovaly předešlé kapitoly. Nespornou výhodou metody přewisu je jednoduchá konstrukce přístroje – lze jej přenést na jiné pracoviště, což usnadňuje práci např. studentům kombinovaného studia, kteří tak nejsou odkázáni pouze na laboratoře TUL. Naopak nevýhodnou výše uvedené metody je časová náročnost. Postup měření je uveden na následujícím schématu (obr.4.14).



Obr. 4.14 Schéma měření metodou přewisu

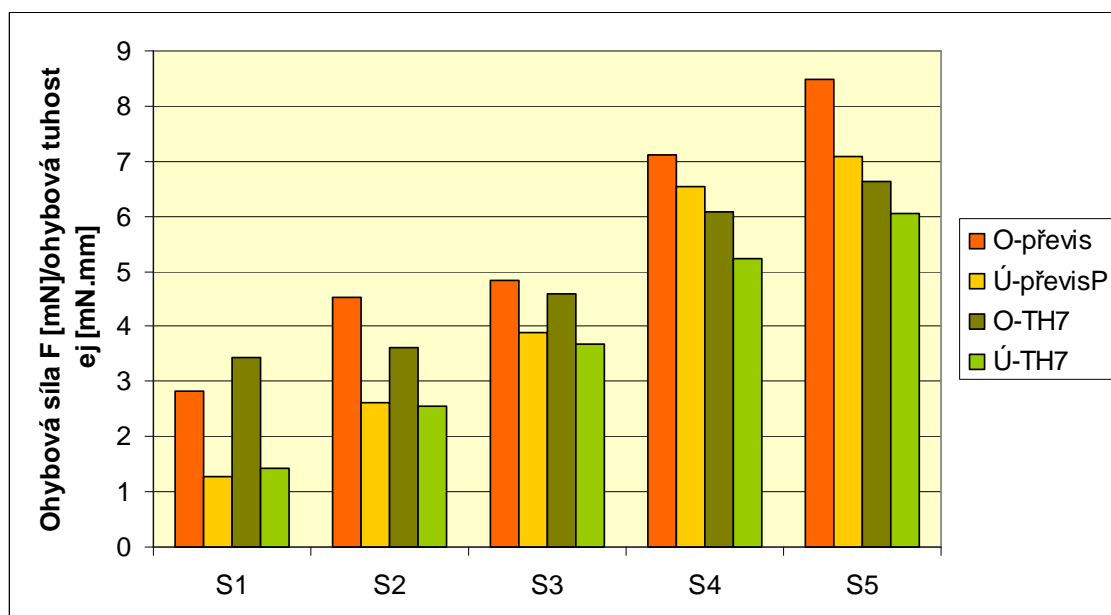
Nutno podotknout, že výstupem obou typů měření není ohybová tuhost: v případě měření na TH-7 je získanou veličinou ohybová síla; u metody převisu snímek ohnuté textilie.

Po přepočtu hodnot ohybových úhlů, které byly získány metodou převisu na ohybovou tuhost a jejím statistickém zpracování byla data získaná výše uvedeným způsobem konfrontována s daty pořízenými na přístroji TH-7. Na obrázcích 4.15 a 4.16 jsou v grafech vyneseny hodnoty výsledných ohybových sil, resp. ohybových tuhostí, které byly pořízeny prostřednictvím obou, výše popsaných, metod. Rozdíl výsledků metod spočívá nejen v odlišných jednotkách (nelze opomenout, že ohybová tuhost je v mN.mm), svou roli hraje i fakt, že data naměřená pomocí přístroje TH-7 nebyla získána standardním způsobem. Experimentátor použil metodu, která je popsána v kapitole 4.4 *Porovnání experimentů* jako experiment B. Měřené místo bylo posunuto od středu vzorku ke kraji, čímž došlo ke zmenšení plochy namáhané na ohyb a zároveň ke snížení počtu vazných bodů. Obojí má vliv na výslednou ohybovou tuhost (sílu), ta pak bude samozřejmě nižší. Větší rozdíly typů měření vykazují kruhové vzorky.



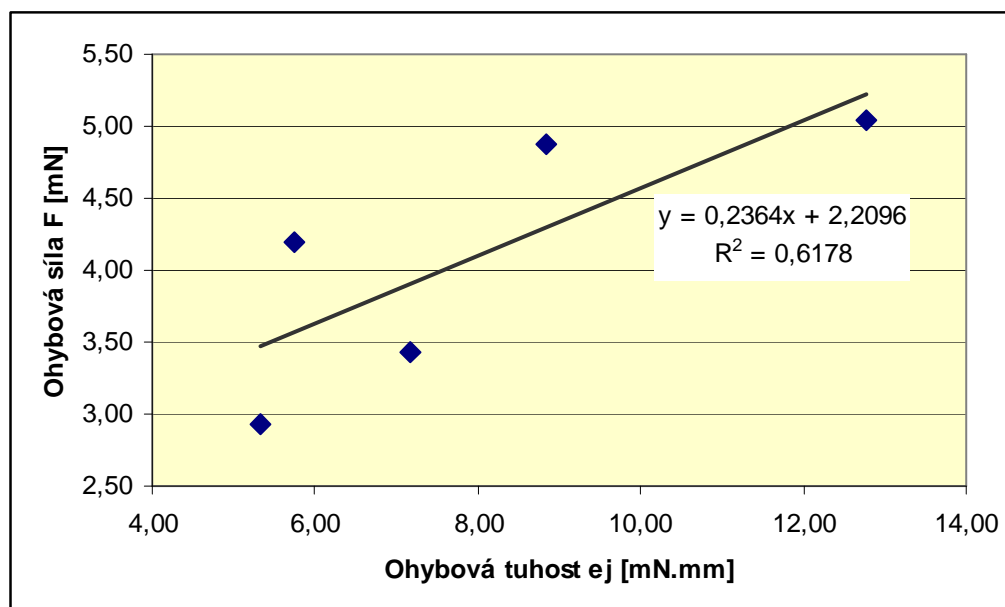
Obr. 4.15 Hodnoty získané metodou převisu a měřením na přístroji TH-7 – kruhové vzorky

K legendě obrázků 4.15 a 4.16: *O* a *Ú* symbolizuje osnovu a útek, *převís* hodnoty získané metodou převisu a *TH7* prostřednictvím přístroje TH-7.

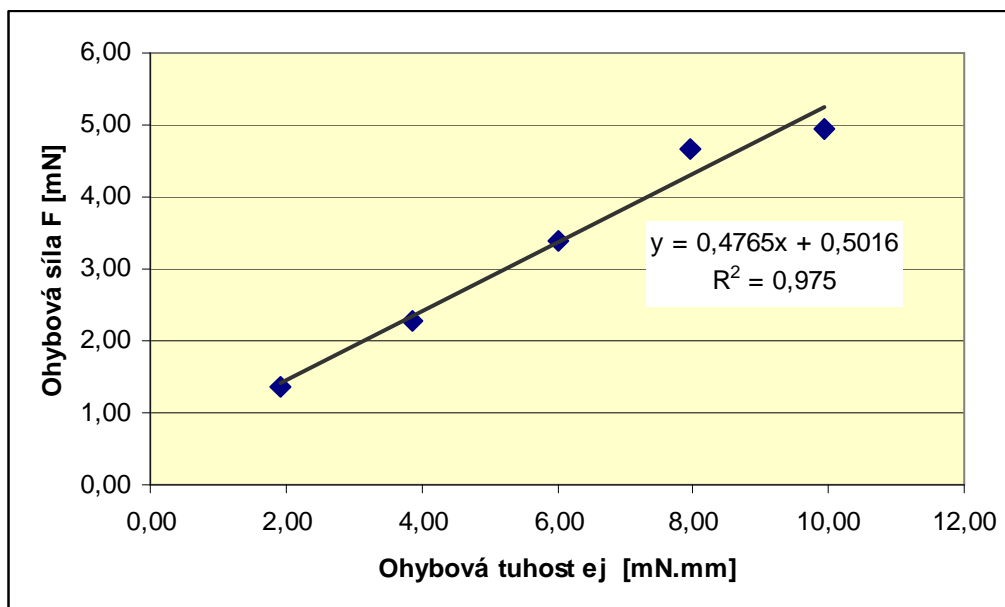


Obr. 4.16 Hodnoty získané metodou převisu a měřením na přístroji TH-7 – čtvercové vzorky

Porovnání obou metodik bylo realizováno pomocí regrese v programu MS Excel. Jak je vidět z obrázků 4.17 a 4.18 (kruhové vzorky) – vlivem vychýlení hodnot ohybových tuhostí po osnově, získaných metodou převisu, je hodnoty R^2 výrazně nižší v případě obr. 4.17. V případě obr. 4.18 dosahuje hodnota korelačního koeficientu vyšší hodnoty.

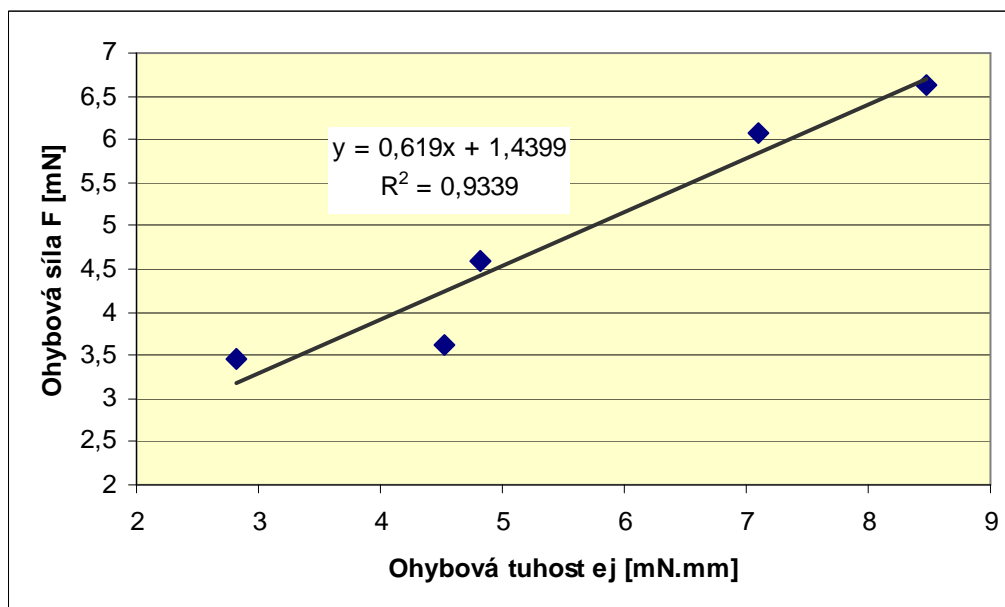


Obr. 4.17 Grafické znázornění porovnání metod pro osnovu (kruh)

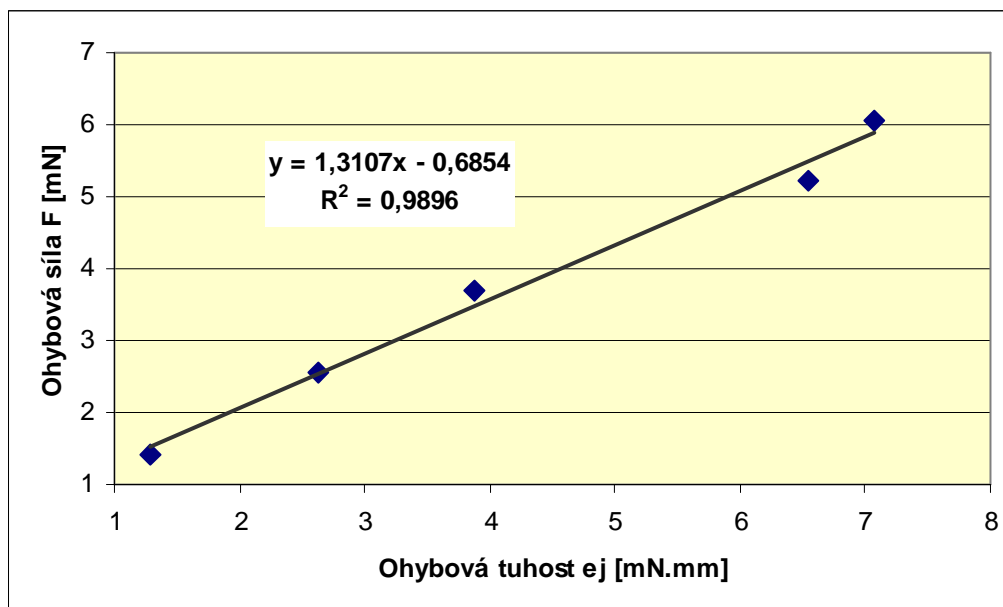


Obr. 4.18 Grafické znázornění porovnání metod pro útek (kruh)

Na obrázcích 4.19 a 4.20 je znázorněno porovnání metod měření ohybové tuhosti (síly) pro čtvercové vzorky. Korelační koeficienty dosahují poměrně vysokých hodnot, což svědčí o značné závislosti výsledků měření.



Obr. 4.19 Grafické znázornění porovnání metod pro osnovu (čtverec)



Obr. 4.20 Grafické znázornění porovnání metod pro útek (čtverec)

4.6.1 Shrnutí poznatků k porovnání metodik měření

Metoda měření ohybové tuhosti převísem je časově náročnější, vzhledem k tomu, že snímky ohnutých textilií je nutné dále zpracovávat. Data pořízená tímto způsobem mají vyšší variabilitu (hodnoty variačních koeficientů se téměř všechny pohybují nad hranicí deseti procent), u kruhových vzorků se navíc řešila problematika vybočujících měření. Za povšimnutí stojí též fakt, že u kruhových vzorků dochází oproti hodnotám získaných na přístroji TH-7 k výraznému nárůstu ohybové tuhosti (lze vysvětlit odlišným způsobem testování vzorku viz. kapitola 4.4 *Porovnání experimentů*) a že ohybová tuhost čtvercových vzorků je u metody převísu nižší než u kruhových vzorků.

Při analýze dat z TH-7 bylo zjištěno, že hodnoty ohybových sil jsou u kruhových vzorků nižší než u vzorků čtvercových, což bylo odůvodněno skutečností, že kruhové vzorky mají po zastřižení menší plochu. U metody převísu se hodnoty ohybové tuhosti kruhových vzorků až téměř ztrojnásobily, rovněž hodnoty ohybových úhlů jsou nižší než u čtvercových vzorků (přitom platí: čím vyšší hodnoty ohybového úhlu, tím nižší ohybová tuhost).

Důvodů, proč se data získaná pro kruhové vzorky vyšetřované metodou převisu „nechovají“ standardně, je na první pohled celá řada: špatná orientace vzorku, chybné odečtení ohybového úhlu, chyba výpočtového modelu,... Většinu těchto faktorů lze vyloučit. Je nepravděpodobné, že by experimentátor chybně změřil hodnotu ohybového úhlu, jestliže předchází měření (čtvercové vzorky) vykazují uspokojivé hodnoty. Chybu výpočtu lze rovněž vyloučit. Do programového prostředí Famulus byl přidán ověřený výpočtový model a nebyl dále upravován. Vstupní hodnotou je plošná hmotnost vzorku, délka převisu, pomocná konstanta c a ohybový úhel. První zmíněná proměnná je známá z předchozích měření a ověřená více experimentátory; délka převisu je konstantní; pomocnou konstantu volí Famulus na základě zadání ostatních vstupních parametrů a při jejím přepsání není výsledná hodnota ohybové tuhosti extrémně změněna. Největší vliv na výslednou ohybovou tuhost má ohybový úhel. V tomto případě jsou hodnoty ohybových úhlů u kruhových vzorků po osnově i útku neobvykle nízké – výsledná tuhost naopak vysoká.

Jako jediné řešení nastalé situace se jeví opětovné přeměření kruhových vzorků a jejich důkladná kontrola, aby se co možná nejvíce omezil výskyt chyb. Je možné, že experimentátor prohodil typy vzorků (S1 – S5), nebo vzorky špatně označil – kontrola by se měla zaměřit i na dostavu. Dále lze doporučit proměření většího počtu vzorků.

Metoda převisu je časově náročná, její výhodou jsou nízké pořizovací náklady a možnost demontáže aparatury. Jedná se však o metodu poměrně nepřesnou a to i když budou vyloučeny případné chyby experimentátora. Vzorek se např. při ohybu značně kroutí, což znesnadňuje přesné odečtení ohybového úhlu. Metodu lze doporučit jako doplňkovou ke standardním metodám, jako např. TH-7 nebo Kawabata (ověření správné funkce přístroje).

Metoda je uplatnitelná v menších provozech, kde by hodnoty ohybu byly pouze orientační a nemělo by smysl pořizovat nákladnější, ale přesnější, přístroje. Svůj účel splňuje jako výuková pomůcka pro pochopení závislosti mezi ohybovým úhlem a ohybovou tuhostí. V neposlední řadě lze výše uvedenou metodu doporučit pro studenty kombinovaného studia, pro které je často nemyslitelné realizovat měření ve školních laboratořích. Aparatura je snadno demontovatelná, reprodukovatelná – bylo by možné ji zapůjčit studentům domů.

4.7 Výpočet ohybové tuhosti podle Peirce

Při použití programu Famulus pro přepočet ohybového úhlu na ohybovou tuhost je využíváno algebraických rovnic, jenž jsou řešeny iterační metodou. Pro srovnání byla ohybová tuhost vypočítána i podle Peirce. Nutno podotknout, že v době vzniku vztahu pro výpočet ohybové tuhosti (viz. vztah (4.1)) dle Peirce nebyly poznatky o dané problematice na takové úrovni jako dnes; nebyly dostupné ani odpovídající výpočtové modely. Výsledné hodnoty jsou tudíž méně přesné než při využití SW či přímo aparatury určené pro měření dané charakteristiky.

Vzhledem k tomu, že většina starších metodik pro určování ohybové tuhosti textilií vychází z pravoúhlých (obdélníkových popř. čtvercových) vzorků, byla ohybová tuhost dle Peirce počítána pouze z ohybových úhlů čtvercových vzorků pro všechny typy zkoumaných tkanin, tedy S1 – S5, po osnově i útku. Dalším důvodem, proč nebyla ohybová tuhost počítána výše uvedenou metodou rovněž pro kruhové vzorky je fakt, že u kruhových vzorků není dosažen očekávaný trend hodnot ohybových úhlů, jak je ostatně uvedeno v kapitole zabývající se měřením ohybu metodou převisu (kapitola 4.5 *Měření ohybové tuhosti metodou převisu*, obr. 4.10).

Ohybová tuhost byla vypočtena podle následujícího vzorce (Fridrichová, 2008):

$$EJ_{Peirce} = \frac{m_1 g L^3}{8 \operatorname{tg} \left(\alpha \frac{\pi}{180} \right)} \cos \left(0,5 \alpha \frac{\pi}{180} \right) \quad (4.1)$$

kde: m_1 délková hustota [k.g.m⁻¹],
 g gravitační zrychlení [m.s⁻²],
 L délka vzorku [m],
 α úhel [°].

Hodnota m_1 , délková hmotnost, je součinem plošné hmotnosti a šířky vzorku, stanovená dle vzorce (4.2) (Fridrichová, 2008):

$$m_1 = m_0 b \quad (4.2)$$

kde: m_0 plošná hmotnost [k.g.m⁻²],
 b šířka vzorku [m].

Hodnoty délkové hmotnosti pro tkaniny S1 – S5 jsou zaznamenány společně s hodnotami plošné hmotnosti v tabulce 4.10. Hodnoty statistických charakteristik pro ohybovou tuhost (EJ_{Peirce} [Nm²]) v tabulkách 4.11 a 4.12.

Tab. 4.10 Hodnoty délkové hustoty a vstupní parametry pro její výpočet

Hodnota	S1	S2	S3	S4	S5
šířka vzorku	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045
plošná hmotnost	0,10	0,12	0,14	0,16	0,17
délková hmotnost	0,0045	0,0054	0,0063	0,0072	0,00765

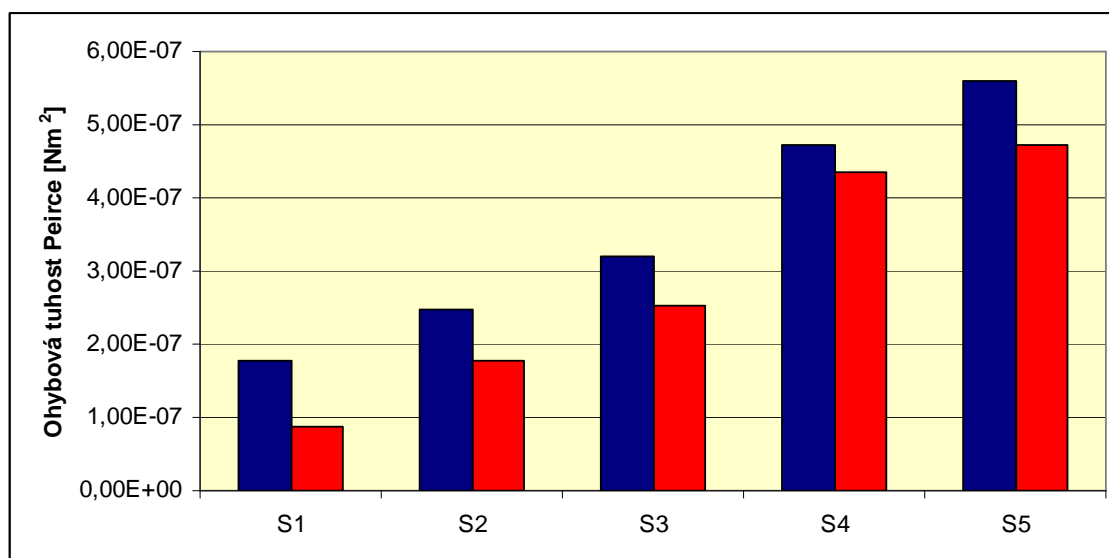
Tab. 4.11 Vyhodnocení ohybové tuhosti - osnova

Osnova					
Charakteristika	S1	S2	S3	S4	S5
Průměr	1,78E-07	2,47E-07	3,20E-07	4,73E-07	5,60E-07
Směrodatná odchylka	2,70E-08	3,05E-08	5,35E-08	9,15E-08	1,26E-07
Rozptyl	8,81E-16	1,06E-15	3,86E-15	9,84E-15	1,90E-14
Variační koeficient	14,82	12,20	16,16	19,52	22,35
95% IS horní mez	1,97E-07	2,68E-07	3,57E-07	5,37E-07	6,48E-07
95% IS dolní mez	1,59E-07	2,26E-07	2,83E-07	4,1E-07	4,73E-07

Tab. 4.12 Vyhodnocení ohybové tuhosti - útek

Útek					
Charakteristika	S1	S2	S3	S4	S5
Průměr	8,76E-08	1,77E-07	2,53E-07	4,36E-07	4,73E-07
Směrodatná odchylka	1,02E-08	2,65E-08	3,32E-08	8,31E-08	1,05E-07
Rozptyl	1,19E-16	7,57E-16	1,26E-15	9,47E-15	1,41E-14
Variační koeficient	11,56	14,70	13,22	18,45	21,76
95% IS horní mez	9,47E-07	1,95E-07	2,76E-07	4,95E-07	5,45E-07
95% IS dolní mez	8,04E-07	1,58E-07	2,30E-07	3,78E-07	4,00E-07

Z tabulek je opět patrný vzestupný trend ohybové tuhosti – nárůst ohybové tuhosti je spojen se snižující se hodnotou ohybového úhlu a zvyšující se hodnotou dostavy, která ovlivní mimo jiné hodnoty délkové a plošné hustoty – situace je podložena grafem viz. obrázek 4.21. Za povšimnutí stojí vysoké hodnoty variačních koeficientů, které poukazují na vyšší variabilitu sledované veličiny. Variabilita je pravděpodobně způsobena deformacemi vzorků při testu (kroucení vzorků), čímž se hůře odečítá hodnota ohybového úhlu.



Obr. 4.21 Ohybová tuhost podle Peirce

Obrázek 4.21 je grafickým vyjádřením vypočtených ohybových tuhostí pro osnovu (modré sloupce) a útek (červené sloupce). Hodnoty jsou uvedeny v Nm^2 .

Hodnoty ohybové tuhosti v totožných jednotkách získáme i prostřednictvím výpočtu v programu Famulus (viz. tabulka 4.13). Ačkoli průměrné hodnoty ohybových tuhostí vypočtených výše uvedenými způsoby vykazují stejný trend – ohybová tuhost se postupně zvyšuje s rostoucí dostavou – graf na obrázku 4.22 ani párový t-test nepotvrdil hypotézu o shodnosti výsledků obou výpočtových metod.

Tab. 4.13 Průměrné hodnoty ohybové tuhosti vypočtené prostřednictvím prg. Famulus

Hodnota	S1	S2	S3	S4	S5
EJ [Nm^2] - o	1,13E-07	1,81E-07	1,93E-07	2,86E-07	3,39E-07
EJ [Nm^2] - ú	5,11E-08	1,05E-07	1,55E-07	2,62E-07	2,81E-07

Shodnost či rozdílnost dat byla analyzována pomocí párového t-testu (viz. Opitka, Šmajstrala, 2010). Testování probíhá způsobem, který je analogií testu popsaného v kapitole 4.3.1 *Statistické výsledky naměřených hodnot – TH-7*. Odlišnosti spočívají v definování nulové a alternativní hypotézy a stanovení kritické hodnoty a testovacího kritéria. Výsledky testu jsou zaznamenány v tabulce 4.14.

Tab. 4.14 Výsledky párového t-testu

Hodnota	S1	S2	S3	S4	S5
Test. kritérium $t - o$	34,80	14,10	28,60	14,50	21,10
Test. kritérium $t - ú$	18,00	40,90	23,80	26,50	23,40
Kritická hodnota $t_{krit.}$	2,13	2,13	2,13	2,14	2,16

Stanovení výše uvedených hodnot proběhlo následujícím způsobem (Opitka, Šmajstrala, 2010):

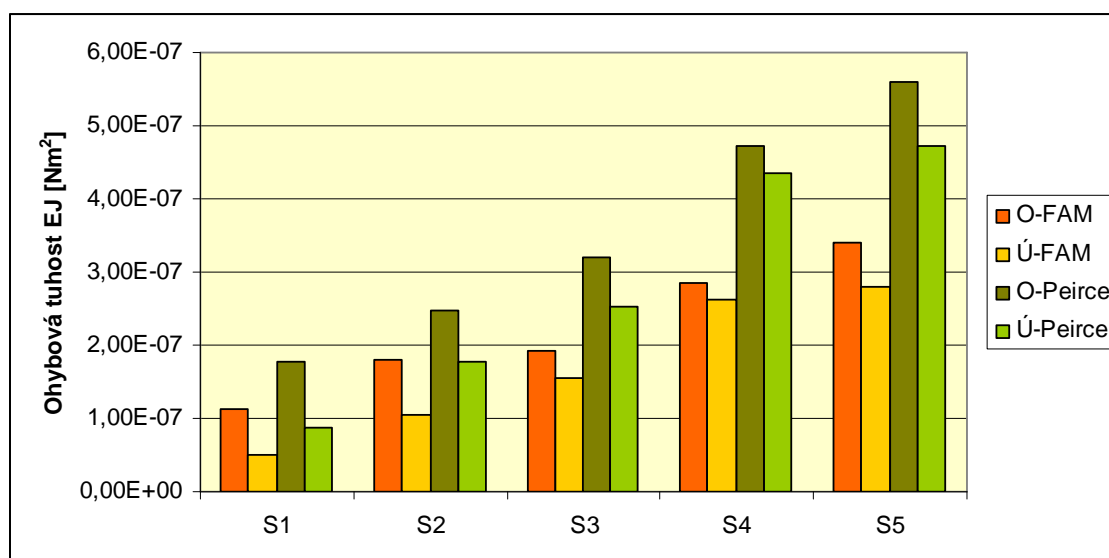
✓ nulová hypotéza: $H_0 : \mu_1 = \mu_2$

✓ alternativa: $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$

✓ testovací kritérium: $t = \frac{\bar{d}\sqrt{n-1}}{s_d}$

✓ kritická hodnota: $t_p(n-1)$

Hladina spolehlivosti byla opět zvolena jako $p = 0,05$. Kritické hodnoty se u vzorků S4 a S5 liší od předchozích – důvodem je menší rozsah výběrů; experimentátor v uvedených případech proměřil méně vzorků. Z tabulky 4.14 je dále patrné, že hodnoty testovacích kritérií výrazně překročily kritické hodnoty, tudíž nulovou hypotézu H_0 zamítáme; výsledky obou výpočtových metod se liší.



Obr. 4.22 Porovnání průměrných ohybových tuhostí (O – osnova; Ú – útek; FAM – Famulus)

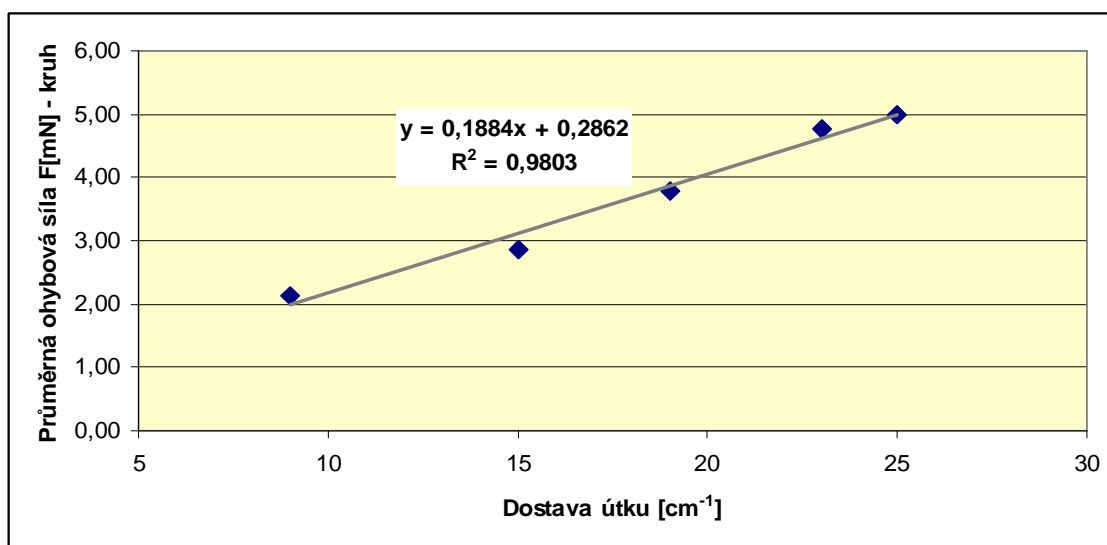
4.8 Vliv dostavy, vazby a tvaru průřezu tkaniny na ohybovou tuhost

Tato kapitola diplomové práce je věnována strukturním charakteristikám zkoumaných textilií a jejich souvislostí či vlivem na ohybovou sílu (popř. tuhost), jejíž hodnoty byly pořízeny výše uvedenými způsoby. Vzhledem k tomu, že jako nejobektivnější metoda zjišťování ohybové tuhosti se jeví TH-7, jsou výsledky této metody uplatněny při hledání souvislostí mezi strukturou textilií a ohybem.

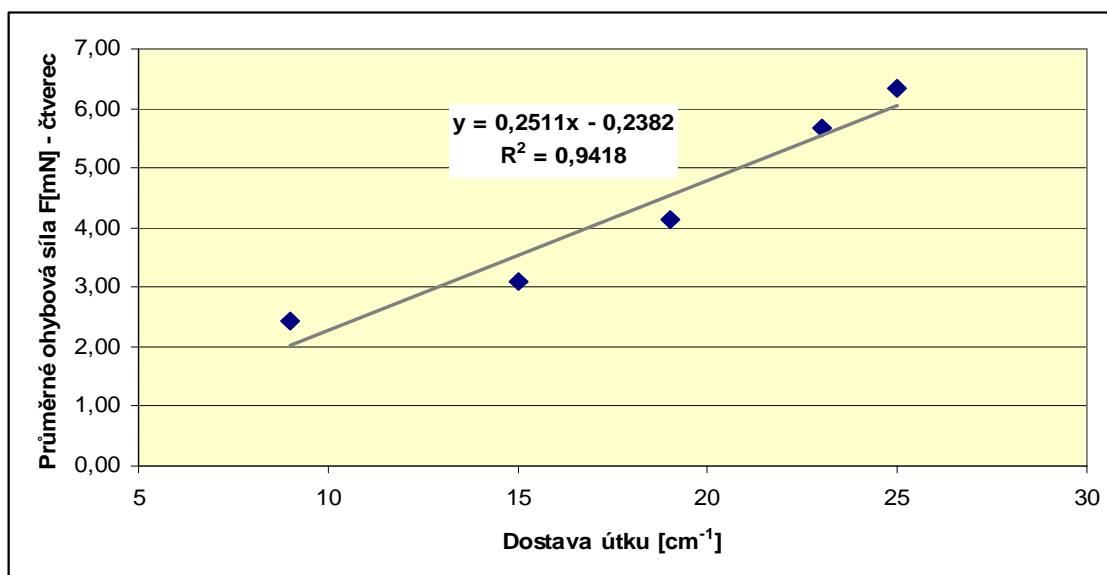
4.8.1 Vliv dostavy a vazby na ohyb

Zatímco dostava osnovy je u všech vzorků konstantní (tj. 22 nití na 1 cm), dostava útku se mění dle tabulky 4.1 (ad popis zkoumaných textilií). Tkanina s označením S1 má nejmenší dostavu útku – 9 nití/cm, naopak tkanina s označením S5 vykazuje nejvyšší hodnoty dostavy – 25 nití/cm. Vazba je u všech tkanin shodná, jedná se o plátno.

Posuzování závislosti ohybové síly na dostavě jednotlivých textilií bylo řešeno opět pomocí MS Excel. Na osu x byly vynášeny hodnoty dostav, na osu y ohybové síly naměřené na přístroji TH-7 a to zvlášť pro kruhové a čtvercové vzorky. Následně byla přidána spojnice trendu, rovnice regrese a hodnota spolehlivosti R^2 (tedy druhá mocnina indexu korelace).



Obr. 4.23 Porovnání dostavy útku a ohybové síly pro kruhové vzorky



Obr. 4.24 Porovnání dostavy útku a ohybové síly pro čtvercové vzorky

Na obrázcích 4.23 a 4.24 jsou grafy statistické závislosti mezi dostavou útku a ohybovými silami kruhových a čtvercových vzorků. Je patrné, že v případě závislosti ohybových sil u vzorku typu kruh je hodnota spolehlivosti vyšší než u typu čtverec. V obou případech se jedná o kladnou korelaci, neboť hodnoty obou proměnných (dostavy i ohybové síly) vykazují vzestupný charakter. Z výsledků je zřejmé, že závislost mezi oběma proměnnými je značná.

4.8.2 Vliv zakrytí a vazby tkaniny na ohyb

Další sledovanou závislostí je vliv zakrytí tkaniny na ohybovou sílu. Obecně známým faktem je, že míru zakrytí tkaniny ovlivňuje dostava obou soustav nití a jemnost zatkané příze. Zakrytí (Z) zkoumaných tkanin bylo vypočteno na základě vzorce (4.3):

$$Z = d_o D_o + d_u D_u - d_o d_u D_o D_u \quad (4.3)$$

kde: D_o, D_u dostava osnovy, útku,
 d_o, d_u průměr osnovní, útkové příze.

Při výpočtu je nutné dodržet stejné jednotky; např. pokud bude dostava v nitech na cm, měl by být i průměr přízí v cm. Vynásobením plošného zakrytí tkaniny $Z \cdot 100$ je získaná hodnota v procentech. V případě, že by se jednalo o jinou vazbu než plátno,

bylo by nutné ve vztahu (4.3) zohlednit tzv. koeficient provázání. V případě plátnové vazby je tento koeficient roven jedné. Hodnota průměru příze byla vypočtena na základě vztahu (4.4):

$$d = \sqrt{\frac{4T}{\pi\mu\rho}} \quad (4.4)$$

kde: T jemnost příze [tex],
 μ zaplnění příze,
 ρ měrná hmotnost (hustota) vláknenné suroviny [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

Po dosazení známých hodnot do 4.4 je získána hodnota ad 4.5:

$$d = \sqrt{\frac{4 * 29,5}{\pi * 0,403 * 1520}} \approx 0,248[\text{mm}] \quad (4.5)$$

Při výpočtu je uvažována kompaktní hexagonální struktura příze, jenž se projeví jako hodnota zaplnění příze; hodnota měrné hmotnosti pro bavlnu je tabelovaná. Jemnost příze je pro všechny vzorky totožná.

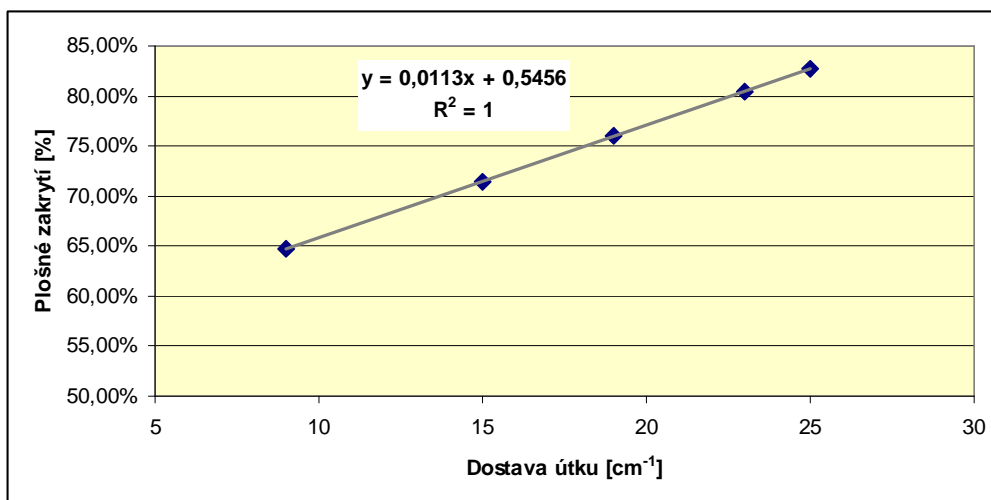
Výpočet průměru příze uvedený jako vzorec (4.4) resp. (4.5) vychází z výpočtu plochy kruhu; úvaha je taková, že i příze má ideální, tedy kruhový, průřez. Z výzkumů vyplývá, že zatkaná příze většinou nemá ideální kruhový průřez, ale je deformována. O této problematice pojednává kapitola 3 *Model struktury tkaniny*. Určení přesného průřezu nese řadu problémů. Ačkoli se průřez příze bude zřejmě měnit vlivem zvyšujícího se počtu útkových nití, při výpočtu průměru je tato skutečnost zanedbána. Přesné hodnoty průměrů příze vzhledem k výše uvedeným skutečnostem lze řešit např. použitím obrazové analýzy v programu LUCIA, což by mohlo být předmětem zkoumání další diplomové či bakalářské práce.

V tabulce 4.15 jsou zaznamenány hodnoty dostavy osnovy a útku a vypočtené plošné zakrytí tkaniny dle vzorce (4.3). Z tabulky je patrné, že zvyšující se dostava útku zapříčiní zvyšování hodnoty plošného zakrytí, neboť všechny ostatní veličiny dosazované do vztahu jsou konstantní.

Tab. 4.15 Plošné zakrytí tkaniny

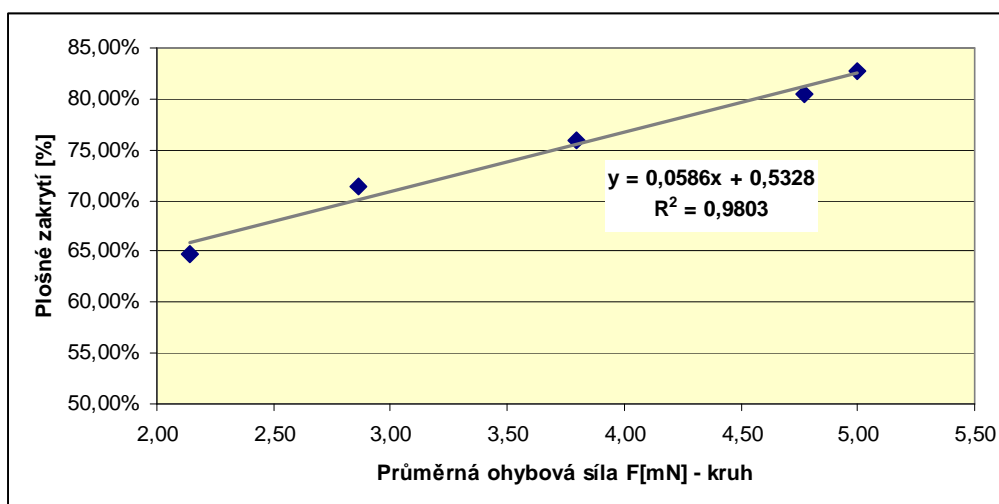
Vlastnost	S1	S2	S3	S4	S5
Dostava osnovy [cm ⁻¹]	22	22	22	22	22
Dostava útku [cm ⁻¹]	9	15	19	23	25
Plošné zakrytí [%]	64,70	71,46	75,97	80,48	82,73

Z obrázku 4.25 vyplývá, že způsob výpočtu plošného zakrytí, resp. průměru příže, výše popsanou metodou zapříčiní absolutní shodu mezi zkoumanými proměnnými. V reálu by byla zřejmě hodnota R^2 nižší – průměr příže by nebyl vlivem deformací konstantní.

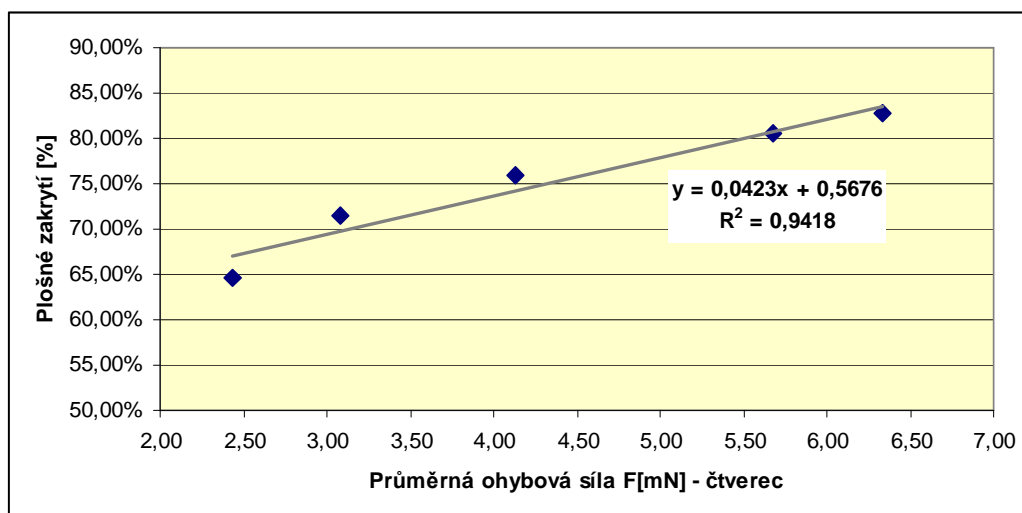


Obr. 4.25 Závislost plošného zakrytí na dostavě útku

Na následujících obrázcích 4.26 a 4.27 jsou zachyceny grafy závislosti průměrné ohybové síly pro čtvercové a kruhové vzorky na dostavu útku.



Obr. 4.26 Vliv zakrytí na ohybovou sílu – kruhové vzorky



Obr. 4.27 Vliv zakrytí na ohybovou sílu – čtvercové vzorky

Z výše uvedených grafů je patrná vysoká hodnota korelačního koeficientu mezi proměnnými, které jsou v tomto případě reprezentovány plošným zakrytím v procentech (osa y) a průměrnou ohybovou silou pro čtvercové a kruhové vzorky (osa x). Stejně jako v bodu 4.8.1 *Vliv dostavy a vazby na ohyb* je korelační koeficient vyšší pro hodnoty ohybové síly naměřené na kruhových vzorcích. Vzestupný trend obou proměnných je logicky vysvětlitelný. Plošné zakrytí je závislé na dostavě, která se v případě zkoumaných vzorků postupně zvyšuje. Rovněž ohybová síla vykazuje pozvolný nárůst. Lze říci, že s nárůstem plošného zakrytí roste i odpor textilie vůči ohýbání.

4.8.3 Vliv průřezu textilie na ohyb

Jak bylo zmíněno v předešlých kapitolách – při procesu tkaní dochází k deformacím příze – kruhový průřez se mění na eliptický – což většina modelů vazných vln zanedbává. S touto skutečností by mohly být spojeny nepřesnosti ve stanovení ohybových charakteristik různými metodami.

Ohybová tuhost je závislá na kvadratickém momentu průřezu plochy. Ačkoliv mají zkoumané tkaniny totožné složení (tedy bavlněnou přízi o jemnosti 29,5 tex) a po osnově konstantní dostavu, příčný řez jednotlivých typů vzorků se mění. Změny vzhledu vazné vlny jsou zmapovány na obrázku 4.28.



Obr. 4.28 Změny vazné vlny (snímky pořízeny L. Fridrichovou)

Obrázek 4.28 zachycuje pohledy na útkové vazné vlny (osnovní nitě jsou v řezu) vzorků S1 – S5. V případě vzorku typu S1 je patrné, že osnovní nitě jsou rozvolněnější, útková vazná vlna je téměř rovná. Naopak u vzorku typu S5 lze vysledovat maximální zvlnění útkové vazné vlny a větší kompaktnost osnovních přízí.

Důležitým faktorem, který má pravděpodobně velký vliv na výsledné hodnoty sledované ohybové tuhosti, je „vzhled“ vazného prvku ve tkanině a vzdálenost mezi sousedními přízemi. Se zvyšující se dostavou se vzdálenost mezi sousedními vaznými body snižuje. Dalším předpokladem je, že při ohybu méně dostavených tkanin má příze dostatek prostoru, aby došlo k její deformaci – rozvolnění a vytvoření horizontálně protáhlé čočky; tkanina pak bude patrně poddajnější, protože vlákna se do jisté míry rovnoměrně rozmístí (je samozřejmé, že nedojde k úplnému rozvolnění příze, neboť ta je fixována určitým zákrutem). Naopak u hustě dostavených tkanin je příze „kompaktnější“, při ohýbání nemá možnost se dále deformovat (rozvolňovat) – je sevřena zvlněnou vaznou vlnou. U kompaktnějších struktur bude odpor vůči ohybu patrně větší.

Pro potvrzení či vyvrácení výše uvedených předpokladů by bylo potřeba vytvořit dostatečné množství preparátů, které by bylo možné zkoumat např. pod mikroskopem a získat tak snímky určené k dalšímu analyzování. Vzhledem k časové náročnosti tvorby preparátů bude tato část výzkumu předmětem jiné práce.

5 Příprava preparátů pro další výzkum

Aby bylo možné zkoumat deformace průřezu přízí ve tkanině, je nutné vytvořit si preparáty, které by bylo možné mikroskopovat a následně pořizovat snímky textilie vhodné k dalšímu zpracování. Typy preparátů lze rozdělit např. dle způsobu pozorování na preparáty pozorované v dopadajícím světle nebo v procházejícím světle.

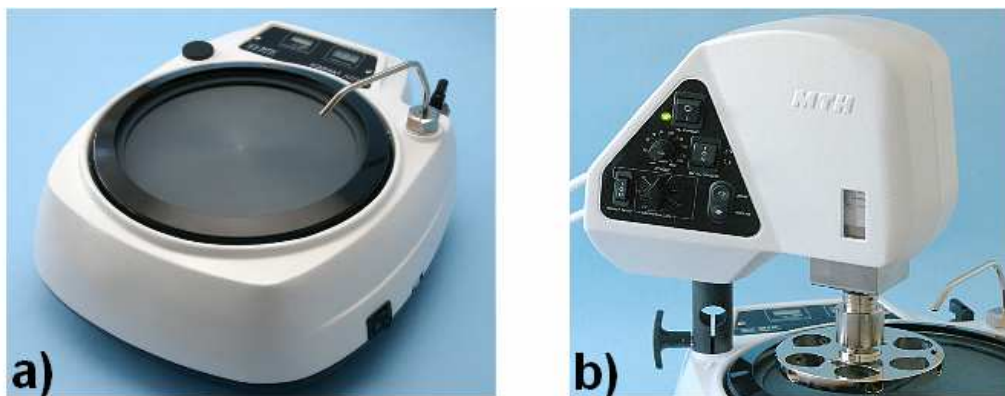
5.1 Pozorování v dopadajícím světle – princip metalografického výbrusu

Preparát pro tento typ pozorování se vytvoří následovně:

- ✓ natužení zkoumané textilie (např. lepidlem Herkules)
- ✓ vlepení mezi výztuže (v tomto případě kancelářský papír)
- ✓ oříznutí suché textilie na požadovanou velikost (řez veden po niti)
- ✓ vložení preparátu do formy
- ✓ zalití preparátu vhodným médiem (pryskyřice - Dentacryl)
- ✓ vyjmutí vytvrzeného bloku z formy
- ✓ upnutí bloku do nástavce brusky pro metalografické výbrusy
- ✓ vybroušení a vyleštění preparátu

Textilii je třeba před zaléváním do média řádně natužit. Vzorek tkaniny musí být umístěn kolmo ke dnu formy, nesmí být ohnutý nebo zkroucený. Pokud tkanina není dostatečně tuhá, při zalévání pryskyřicí se různě deformuje a je obtížné zvládnout urovnávat; proto se často textilie vlepuje mezi dva papíry. Vytvrzený blok pryskyřice se vzorkem tkaniny je broušen na metalografické brusce z jedné strany (lze brousit několik preparátů najednou, regulovat přítlak,...). Brousí se postupně třemi typy brusných papírů – od hrubého po jemný; nakonec je preparát doleštěn pomocí brusné pasty a leštícího kotouče. Takto vybroušený preparát je dočištěn v ultrazvukové vaně, opláchnut vodou a osušen.

Na obrázku 5.1 je uveden příklad metalografické brusky, jejíž starší typ je používán na KTM. Na obrázku vlevo (a) je detail brusky s brusným kotoučem upnutým obručí, vpravo pak detail nástavce. Upínání vzorků do nástavce je zajišťováno pomocí imbusových šroubů.



Obr. 5.1 Metalografická bruska; a) pohled na brusku bez nástavce, b) bruska s nástavcem pro upínání vzorků (TMH Hrazdil, s.r.o.)

Výše popsany způsob tvorby preparátů je vhodný zejména pro kompozity. Při vlepování textilie mezi papírové výztuže může dojít k určitým deformacím. Jedná se zejména o stlačení textilie, což může zkreslit zkoumanou vaznou vlnu.



Obr. 5.2 Snímek preparátu zhotoveného zalitím do pryskyřice

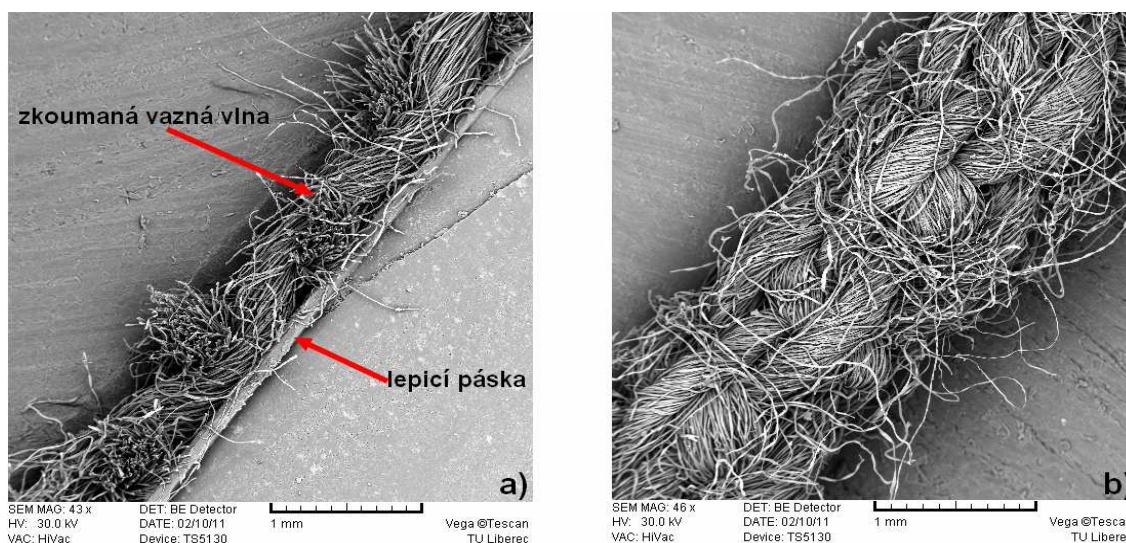
Na obrázku 5.2 je zachycen snímek preparátu, který byl zhotoven právě zalitím do pryskyřice. Střední partii snímku tvoří příčný řez útkové nitě s osnovní vazní vlnou;

ve spodní části je zachycen výztužný papír. Rýhovaná část je blok pryskyřice. Z fotografie lze vypořádat nedokonalosti preparátu: při vlepování mezi vrstvu papíru došlo při zasychání k odlepení papíru od tkaniny, čímž vznikla vzduchová kapsa. Vazná vlna není úplně ostrá; k získání dokonalejšího snímku by bylo zapotřebí další broušení.

5.2 Pozorování pomocí elektronového mikroskopu

Vzhledem k tomu, že výše uvedený způsob je poměrně časově náročný – tužení materiálu, vytvrzení pryskyřice,... je snadou nahradit zalévání do pryskyřice jinou metodou. Zanedbat nelze ani případné deformace viz. bod 5.1 *Pozorování v dopadajícím světle – princip metalografického výbrusu*.

Preparáty jsou zhotoveny tak, že se mezi dva malé kusy plexiskla (čtvercová podstava) vloží zkoumaná textilie. Aby při manipulaci s preparátem zůstala na svém místě a zároveň všechny komponenty držely pohromadě, je vhodné zafixovat textilií k plexisklům pomocí oboustranné lepicí pásky. Takto připravené preparáty lze pozorovat pomocí elektronového rastrovacího mikroskopu (viz. obr. 5.3).



Obr. 5.3 a) Snímek preparátu s popisem, b) Ohnutý vzorek textilie
(oba snímky vytvořeny L. Fridrichovou)

Na obrázku 5.3 b) je snímek ohnuté textilie. Preparát je vytvořen prakticky stejným způsobem jako snímek „jednoduché“ tkaniny (5.3 a) s tím rozdílem, že před vlepováním byla textilie ohnutá tak, aby bylo možné pozorovat vaznou vlnu v ohybu. Lze tak sledovat případnou deformaci zkoumané soustavy nití při ohýbání.

5.3 Pozorování v procházejícím světle

Tento způsob pozorování je určen pro tenké preparáty. Pro tvorbu příčných řezů přízí lze použít tzv. „knoflíkové“ metody. Tato metoda slouží zejména pro vytvoření příčných řezů příze, lze ji však použít i pro plošné textilie.

Tvorba preparátu začíná odebráním vzorku textilie (nitě nebo plošné textilie) a jejím vložením do knoflíkové dírky, v případě plošné textilie do drážky, jenž je nutno předem vytvořit (např. probroušením prostoru mezi dvojicí dírek, vyříznutím lupénkovou pilou atd.). Textilie by měla být uložena pokud možno kolmo ke spodní (rovné) straně knoflíku. Fixace textilie je realizována zakápnutím vteřinovým lepidlem. Po zaschnutí lepidla opět následuje broušení jak je uvedeno v bodu 5.1 *Pozorování v dopadajícím světle – princip metalografického výbrusu*. Nejdříve je knoflík broušen z jedné strany – zarovnání broušeného materiálu, v případě tkaniny probroušení na vaznou vlnu. Po omytí a osušení je knoflík přilepen vteřinovým lepidlem obroušenou stranou na podložní sklíčko. Následuje broušení druhé strany knoflíku. To je prováděno až do vzniku tenkého filmu.

Takto připravený preparát je zkontrolován pod mikroskopem a v případě, že je nedostatečně tenký, je dále odbušován. Nevýhodou tvorby preparátů touto cestou je poměrně velká časová náročnost. Preparáty jsou vybrušovány ručně, neboť je pro svou malou tloušťku nelze upnout do nástavce brusky.

5.4 Zhodnocení typů preparátů

Cílem tvorby preparátů je získání snímku vazné vlny textile, na němž by bylo možné pozorovat např. změny roztečí osnovních a útkových nití, deformace vzniklé příze způsobené vyšší dostavou atd.

Z výše popsaných metod tvorby preparátů se jako nejvhodnější pro pozorování vazné vlny jeví metoda pracovně nazvaná jako „metoda knoflíkové drážky“, která byla popsána v bodu 5.3 *Pozorování v procházejícím světle*. U této metody by mělo dojít k nejmenším deformacím, které vedou ke zkreslení pozorovaného objektu. Pozorování pomocí elektronového mikroskopu je vhodné pro pozorování ohnuté textilie; v řezu ale dochází k rozvolnění vláken a tím ke zkreslení průřezu příze.

Závěr

Úvodní kapitoly práce jsou věnovány současnému stavu poznatků zkoumané problematiky, metodikám zjišťování ohybové tuhosti a modelům struktury tkanin. Jedná se o tzv. rešeršní část práce. Modely struktury tkaniny jsou v rešerši zahrnuty z prostého důvodu – je třeba si uvědomit, že ideální (kruhový) průřez příze se v reálu prakticky nevyskytuje. Vlivem různých deformačních vlivů se mění nejen průřez příze, ale i textilie, což bohužel řada výpočtů zanedbává. Přitom značný vliv na výslednou hodnotu ohybové tuhosti má změna kvadratického momentu průřezu plochy, jak je ostatně uvedeno v pracích L. Fridrichové.

Diplomová práce by měla být odrazem poznatků, jenž student nabyl během studia. V této práci je mimo jiné kladen důraz na komplexní zpracování dat, která byla získána při realizaci jiných prací v rámci KTH. Většina statistických výpočtů (základní statistická analýza) byla realizována prostřednictvím programu MS Excel. Program byl zvolen nejen pro svou jednoduchost a dostupnost; jeho znalost a schopnost vyhodnocování dat právě v tomto programu je nejčastěji požadována na trhu práce. Dále byla data zpracovávána v programu QC Expert (tvorba regulačních diagramů a krabicových grafů) a v programovém prostředí Famulus (přepočet ohybových úhlů na ohybovou tuhost).

Jádrem práce – praktickou částí – je analýza dříve naměřených dat a vliv strukturních parametrů na výslednou ohybovou tuhost (resp. sílu). Data byla získána pomocí dvou metodik a to na přístroji TH-7 a metodou převisu. První podkapitoly byly věnovány hodnotám z TH-7. Aby se zamezil vznik zdánlivě nesmyslných výsledků měření, je nutné vzorky řádně označit a při měření striktně dodržovat směr nejen osnovy a útku, ale i rubu a líce. Vzhledem k tomu, že experimentátor zřejmě vlivem nepozornosti výše uvedený postup nedodržel, bylo před vlastním vyhodnocováním nutné zkontrolovat fotografie pořízené bezprostředně před upnutím textilie do čelistí přístroje. Hodnoty ohybových sil pak byly na základě kontroly snímků správně uspořádány. Důležitost dodržení pořadí je demonstrována v kapitole 4.2 *Vliv směru osnovy a útku na výsledné polární diagramy*, kde jsou porovnány polární diagramy ohybových sil před a po seřazení dat.

Při měření na TH-7 je pro objektivnost výsledků vhodné upnout vzorek do čelistí přístroje tak, aby byl ohýbán ve své polovině. Kapitola 4.4 *Porovnání experimentů* ukazuje změnu ohybové síly při změně testovaného místa.

Dále byly porovnávány výsledné hodnoty ohybových sil, které byly naměřeny pro čtvercové a kruhové vzorky. Kruhové vzorky vzniknou zastřížením čtvercového vzorku, čímž dojde ke snížení plochy a tím pádem i k úbytku vazných bodů. Kruhové vzorky pak dosahují nižších hodnoty ohybových sil. Společnou charakteristikou obou typů vzorků je vzrůstající trend ohybových sil. Nárůst je postupný a je ovlivněn zvyšující se dostavou útku, neboť všechny vzorky mají konstantní dostavu osnovy. Ačkoliv je po vizuální stránce patrný rozdíl mezi ohybovými silami obou typů vzorků, byla tato skutečnost potvrzena i pomocí t-testu.

Data získaná metodou převisu vykazovala hlavně u kruhových vzorků vybočující měření (byla vyloučena ze statistického zpracování na základě regulačních diagramů) a nízké hodnoty ohybových úhlů. Experimentem byla potvrzena logická úvaha, že tkaniny s větším odporem proti ohybu mají nižší hodnoty ohybových úhlů. Nízké hodnoty ohybových úhlů zkoumaných tkanin se po přepočtu v prostředí Famulus projeví vyššími hodnotami ohybových tuhostí. U čtvercových vzorků byl potvrzen vzestupný trend tuhosti s rostoucí dostavou. Data pro kruhové vzorky tento trend po osnově nesplňují a proto by bylo vhodné měření zopakovat. Oproti metodě měření na přístroji TH-7 je metoda převisem méně přesná.

Pro zajímavost byla dále vypočtena ohybová tuhost dle Peirce a to na základě hodnot ohybových úhlů čtvercových vzorků. Výsledky byly konfrontovány s hodnotami, které byly vypočítány pomocí Famulu. Párový t-test nepotvrdil shodnost výsledků obou výpočtových metod, nicméně vzestupný trend ohybové tuhosti platí i v tomto případě. Rozdílnost výsledků lze též vysvětlit daleko jednodušším výpočtovým modelem v případě Peirce.

Předposlední část, kapitola 4.8 *Vliv dostavy, vazby a tvaru průřezu tkaniny na ohybovou tuhost*, je věnována vlivu strukturních charakteristik na výsledné hodnoty ohybových sil. Hodnoty byly porovnávány s ohybovými silami z přístroje TH-7 vzhledem k tomu, že se jedná o nejpřesnější z dříve zkoumaných metod. Z grafů je patrné, že na ohybovou tuhost má značný vliv dostava a zakrytí tkaniny. Hustěji

dostavené vzorky mají vyšší procento zakrytí a zároveň vykazují vyšší hodnoty ohybových sil, tedy větší odpor vůči ohybu. Ohybovou tuhost (sílu) zřejmě ovlivňuje i poloha vazných bodů. Tento fakt by bylo třeba ověřit dalšími experimenty.

Poslední částí práce je spojená s tvorbou optimálních snímků textilie v řezu nebo ohybu, které by byly dále analyzovány, což by mohlo být předmětem řešení další absolventské práce. Tvorba preparátů pro případný další výzkum byla realizována třemi metodami. První je na bázi melografického výbrusu – preparát je zalit do pryskyřice a po jejím důkladném vytvrzení zbroušen, vyletěn a pozorován pod mikroskopem. Metoda je časově velmi náročná a vzorek textilie může být při přípravě preparátu deformován. Další metoda je založena na ohybu vzorku textilie zafixované oboustrannou lepicí páskou k dvěma plexisklům. Takto zhotovený preparát je možné pozorovat pomocí elektronového mikroskopu. Jako poslední byly zhotovovány preparáty metodou „drážky v knoflíku“ – preparát lze pozorovat v procházejícím světle pod mikroskopem. Tato metoda se v současné době jeví jako nejpříjemnější, i když je též časově náročná.

Další výzkum problematiky spojené s ohybovou tuhostí by mohl být zaměřen právě na detailní průzkum vazných prvků právě prostřednictvím příčných řezů.

Seznam literatury

Behera, B. K. – Guruprasad, R.: Predicting Bending Rigidity of Woven Fabrics Using Artificial Neural Networks. *Fibers and Polymers*, 2010, Vol.11, No.8, 1187-1192.

Cassidy, C. – Lomov, S. V.: Anisotropy of fabrics and interlinings. *International Journal of Clothing. Science and Technology*, 1998, Vol. 10 No. 5, pp. 379-390.

ČSN 80 0858: Zkoušení tuhosti a pružnosti plošných textilií, 1974.

Du, Z. – Xu, B. – Yu, W.: Theoretical Study on the Bending Rigidity of Filament Yarns with an Elliptical Cross-section Using Energy Method. I. Theoretical Modeling. *Fibers and Polymers*, 2010, Vol.11, No.6, 883-890

Du, Z. – Xu, B. – Yu, W.: Theoretical Study on the Bending Rigidity of Filament Yarns with an Elliptical Cross-section Using Energy Method. II. Numerical Evaluation. *Fibers and Polymers*, 2010, Vol.11, No.7, 1062-1066

Durville, D.: Simulation of the mechanical behaviour of woven fabrics at the scale of fibers. *International Journal of Material Forming*, 2010.

Fridrichová, L.: K problematice stanovení ohybové tuhosti plošných textilií. [Disertační práce], Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2000.

Fridrichová, L.: K problematice ohybové tuhosti textilií. [Habilitační práce], Liberec, RUKOPIS.

Hlavatý, J. – Rydlo, P.: Tester komplexní tuhosti textilií. [Rozšířený abstrakt], Studentská konference, Fakulty mechatroniky, informatiky a mezioborových studií, 2010, Liberec.

MTH Hrazdil, s.r.o. Dostupné z: http://www.mth-hrazdil.cz/bruska_kompakt.html
[citováno: 2011-02-28]

Kato Tech CO., LTD. Dostupné z: <http://english.keskato.co.jp/products/>
[citováno: 2011-01-11]

Kolčavová Sirková, B.: Dílčí projekt: Systém projektování textilních struktur 2. etapa: Tvorba systému projektování „příze – tkanina“. [Manuál], Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2004.

Koupil, J.: Fámulus i ve Windows XP. Dostupné z: <http://kdf.mff.cuni.cz/~janek/multimedia/famulus.php> [citováno: 2011-03-18].

Kovačič, V.: Textilní zkušebnictví II. Dostupné z: <http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/ZKT2dil.pdf> [citováno: 2010-12-17].

Kovář, R.: Struktura plošných textilií. Dostupné z : <https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2003-02-17/11-54-33.pdf> [citováno: 2011-01-14].

Linka, A. – Tunák, M.: Planar Anisotropy of Fibre Systems by Using Matlab Image Processing Toolbox. Technical Computing Prague, Conference proceedings on CD. Kongresové centrum ČVUT, Praha, 2006, ISBN 80-7080-616-8.

Neckář, B.: Struktura a vlastnosti textilií. Dostupné z: http://www.ktt.tul.cz/index.php?page=predmety&action=detail&id_predmet=30 [citováno: 2011-01-14].

Niwa, M.: Analysis on the Anisotropic Tensile Properties of Plain Weave Fabrics. Journal of the Textile Machinery Society of Japan, Transactions, 1969, Vol. 22, No. 11, T-256-269

Nováčková, J.: Dílčí projekt: Systém projektování textilních struktur 3. Vývojové etapy. [Průběžná zpráva – hodnocení omaku]. Liberec: Technická univerzita v Liberci.

Opitka, P – Šmajstrala, V.: Pravděpodobnost a statistika. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~oti73/cdpast1/> [citováno 2011-03-08]

Provatidis, Ch. G. - Vassiliadis S. G.: On the performance of the geometrical models of fabrics for use in computational mechanical analysis. International Journal of Clothing Science and Technology, Vol. 16, No 5, 2004, pp 434-444.

Shinohara, A. – Shinohara, F. – Sakaebara, K.: Theoretical Study on Anisotropy of Bending Rigidity of Woven Fabrics. Journal of the Textile Machinery Society of Japan, 1980, Vol. 32, No 8, Pg. 75-79.

Sidabraitė, V. – Masteikaite, V.: Effect of Woven Fabric Anisotropy on Drape Behaviour. Materials Science, 2003, Vol. 9, No 1, Pg. 111-115.

Sodomka, L.: Anizotropie součinitele tření základních vazeb bavlněných tkanin. Strutex, 2001. Liberec: Sborník referátů FT TU, 2001, str. 141-146, ISBN-80-7083-549-4.

Sodomka, L. – Dudíková, M.: Několik poznámek k využití KES soustavy. Česká společnost pro nedestruktivní zkoušení materiálu. 37. mezinárodní konference, Defektoskopie, 2007, Praha.

Stříž, B.: Mechanika textilií. Dostupné z: <https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2003-01-13/15-07-29.pdf> [citováno: 2011-01-06]

Seznam zkratk a symbolů

<i>CO.</i>	company (společnost)
<i>FT</i>	Fakulta textilní
<i>KES</i>	Kawabata Evaluation System
<i>KES FB2</i>	modul pro měření ohybové tuhosti
<i>KHT</i>	Katedra hodnocení textilií
<i>LTD.</i>	anglosaská obdoba označení obchodní společnosti
<i>prg.</i>	program
<i>TH-5</i>	přístroj na měření ohybové tuhosti
<i>TH-7</i>	přístroj na měření ohybové tuhosti - inovace
<i>TUL</i>	Technická univerzita v Liberci
<i>vs.</i>	versus
<i>B</i>	[N.m ² .m ⁻¹] ohybová tuhost (Hlavatý, Rydlo)
<i>B_{A1}</i>	[μN.m] ohybová tuhost osnovy (Sidabraitte)
<i>B_{A2}</i>	[μN.m] ohybová tuhost útku (Sidabraitte)
<i>D_o</i>	[cm ⁻¹] dostava osnovy
<i>D_u</i>	[cm ⁻¹] dostava útku
<i>EI</i>	[Nm ²] ohybová tuhost (Stříž)
<i>EJ</i>	[Nm ²] ohybová tuhost (Famulus)
<i>EJ_{Peirce}</i>	[Nm ²] ohybová tuhost (Peirce)

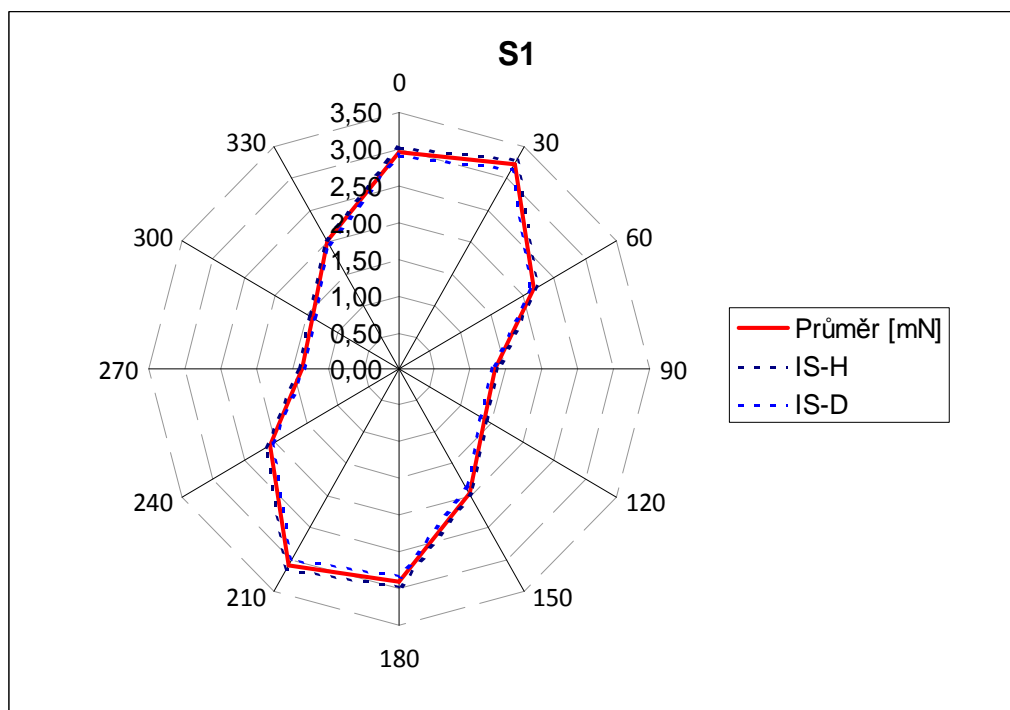
F	[mN]	ohybová síla
F_{krit}	[-]	kritická hodnota (Fisherovo rozdělení)
$F - o$	[-]	hodnota testovacího kritéria pro osnovu
$F - ú$	[-]	hodnota testovacího kritéria pro útek
F_1	[N]	ohybová síla (snímaná čelistí)
H_0	[-]	nulová hypotéza
H_1	[-]	alternativní hypotéza
IS	[-]	interval spolehlivosti
K	[m ⁻¹]	křivost
L	[m]	délka vzorku
$M(x)$	[Nm]	ohybový moment
Mo	[mN·cm]	ohybová tuhost na 1 cm
M_1, M_2	[-]	střední hodnota
R^2	[-]	hodnoty korelačního koeficientu
$S1 (2, 3, 4, 5)$	[-]	typ tkaniny
S_1^2, S_2^2	[-]	rozptyl
T	[tex]	jemnost příze
T_{oc}	[kg.m]	tuhost v ohybu (Cantilever test)
Z	[-]	zakrytí tkaniny
b	[m]	šířka vzorku

c	[-]	pomocná konstanta
d_o	[mm]	průměr osnovní nitě
d_u	[mm]	průměr útkové nitě
e_j	[mN.mm]	ohybová tuhost (Famulus)
g	[m.s ⁻²]	gravitační zrychlení
l	[m]	vysunutá délka proužku
m_0	[k.g.m ⁻²]	plošná hmotnost
m_l	[k.g.m ⁻¹]	délková hmotnost
n_1, n_2	[-]	rozsah výběru
t_{krit}	[-]	kritická hodnota (Studentovo rozdělení)
$t - o$	[-]	hodnota testovacího kritéria pro osnovu
$t - ú$	[-]	hodnota testovacího kritéria pro útek
w	[m]	posuv textilie kolmo na její počáteční polohu
α	[°]	ohybový úhel
μ	[-]	zaplnění příze
ρ	[k.g.m ⁻³]	měrná hmotnost vlákenné suroviny
ρ_s	[k.g.m ⁻²]	plošná hmotnost textilie

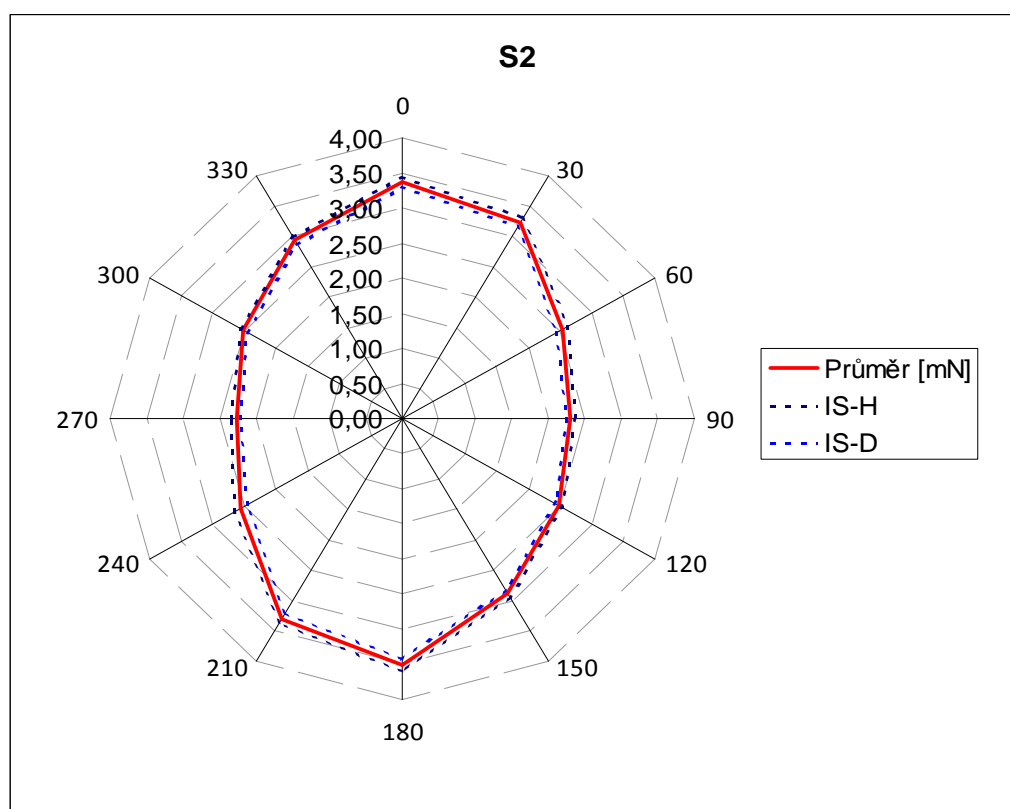
Přílohy

- Příloha 1 Anizotropie ohybové síly pro kruhové vzorky S1 – S5**
- Příloha 2 Test významnosti rozdílů – kruh vs. čtverec**
- Příloha 3 Regulační diagramy a krabicové grafy**

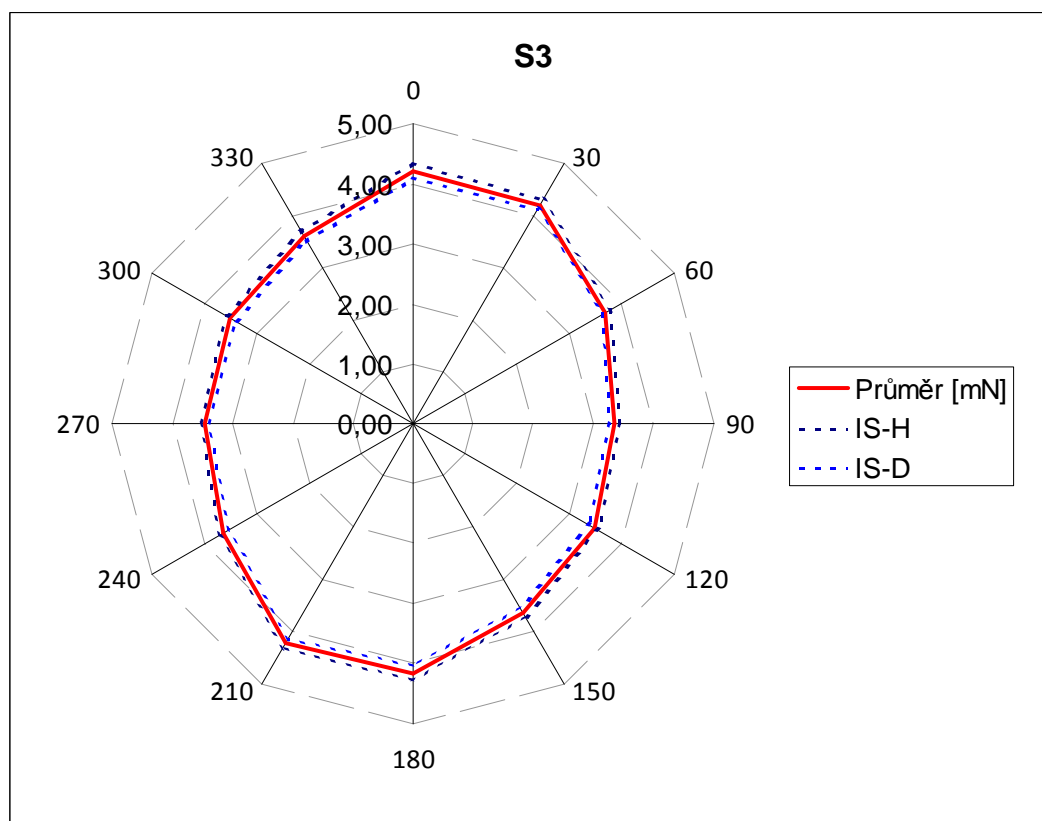
Příloha 1 Anizotropie ohybové síly pro kruhové vzorky S1 – S5



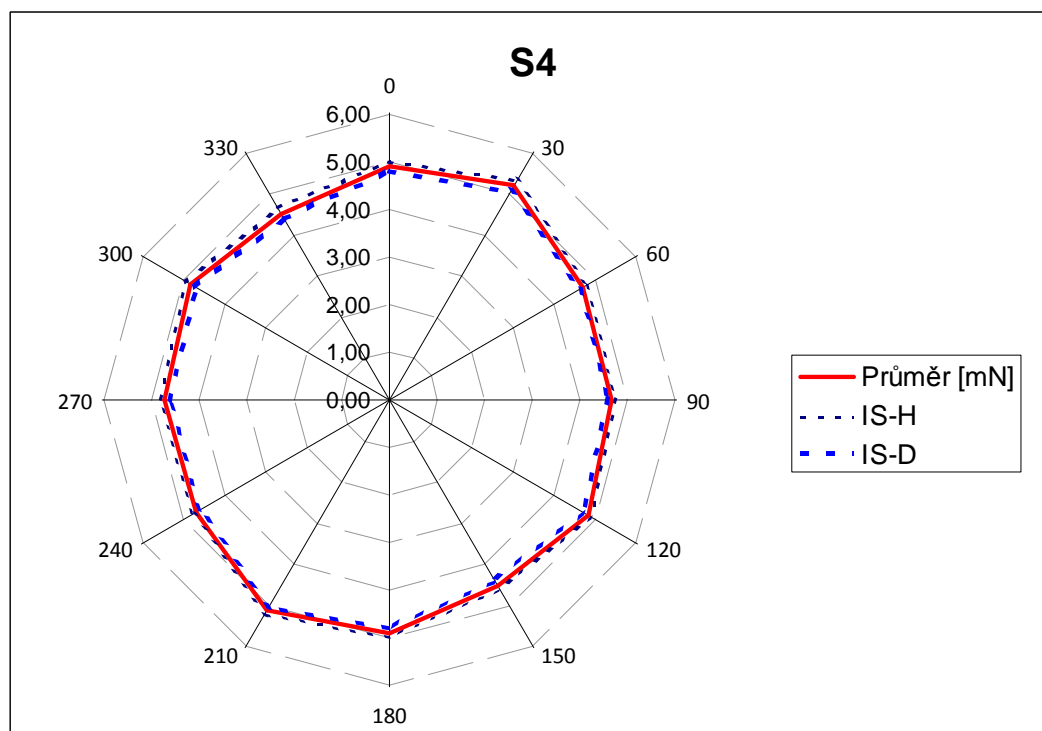
Obr. 1 Průměrné hodnoty ohybové síly pro vzorek S1



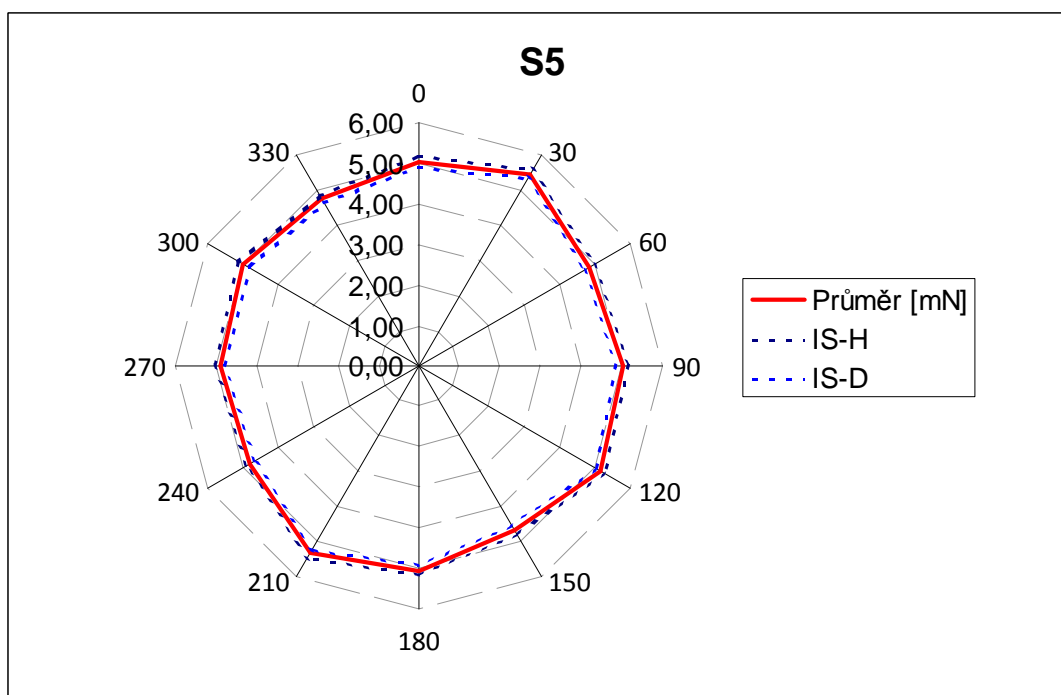
Obr. 2 Průměrné hodnoty ohybové síly pro vzorek S2



Obr. 3 Průměrné hodnoty ohybové síly pro vzorek S3



Obr. 4 Průměrné hodnoty ohybové síly pro vzorek S4



Obr. 5 Průměrné hodnoty ohybové síly pro vzorek S5

Příloha 2 Test významnosti rozdílů – kruh vs. čtverec**Tab. 1 Test významnosti rozdílů pro vzorek S1**

S1 Osnova			S1 Útek		
	<i>kruh</i>	<i>čtverec</i>		<i>kruh</i>	<i>čtverec</i>
Stř. hodnota	2,930986	3,647619	Stř. hodnota	1,356338	1,455556
Rozptyl	0,038455	0,127696	Rozptyl	0,012209	0,021541
Pozorování	71	63	Pozorování	71	63
Společný rozptyl	0,080371		Společný rozptyl	0,016592	
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0		Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	132		Rozdíl	132	
t stat	-14,6048		t stat	-4,45021	
P(T<=t) (1)	1,2E-29		P(T<=t) (1)	9,03E-06	
t krit (1)	1,656479		t krit (1)	1,656479	
P(T<=t) (2)	2,4E-29		P(T<=t) (2)	1,81E-05	
t krit (2)	1,978099		t krit (2)	1,978099	

Tab. 2 Test významnosti rozdílů pro vzorek S2

S2 Osnova			S2 Útek		
	<i>kruh</i>	<i>čtverec</i>		<i>kruh</i>	<i>čtverec</i>
Stř. hodnota	3,432394	3,804762	Stř. hodnota	2,290141	2,573016
Rozptyl	0,064793	0,050783	Rozptyl	0,03833	0,046841
Pozorování	71	63	Pozorování	71	63
Společný rozptyl	0,058213		Společný rozptyl	0,042327	
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0		Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	132		Rozdíl	132	
t stat	-8,91683		t stat	-7,94384	
P(T<=t) (1)	1,71E-15		P(T<=t) (1)	3,79E-13	
t krit (1)	1,656479		t krit (1)	1,656479	
P(T<=t) (2)	3,42E-15		P(T<=t) (2)	7,58E-13	
t krit (2)	1,978099		t krit (2)	1,978099	

Tab. 3 Test významnosti rozdílů pro vzorek S3

S3 Osnova			S3 Útek		
	<i>kruh</i>	<i>čtverec</i>		<i>kruh</i>	<i>čtverec</i>
Stř. hodnota	4,185915	4,849206	Stř. hodnota	3,402817	3,790476
Rozptyl	0,150942	0,099959	Rozptyl	0,062563	0,083456
Pozorování	71	63	Pozorování	71	63
Společný rozptyl	0,126995		Společný rozptyl	0,072377	
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0		Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	132		Rozdíl	132	
t stat	-10,7537		t stat	-8,32526	
P(T<=t) (1)	4,65E-20		P(T<=t) (1)	4,66E-14	
t krit (1)	1,656479		t krit (1)	1,656479	
P(T<=t) (2)	9,29E-20		P(T<=t) (2)	9,31E-14	
t krit (2)	1,978099		t krit (2)	1,978099	

Tab. 4 Test významnosti rozdílů pro vzorek S4

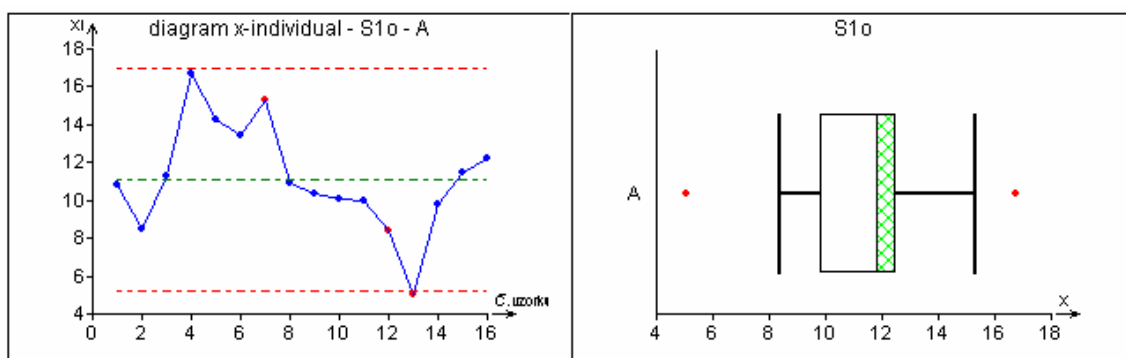
S4 Osnova			S4 Útek		
	<i>kruh</i>	<i>čtverec</i>		<i>kruh</i>	<i>čtverec</i>
Stř. hodnota	4,870423	6,309524	Stř. hodnota	4,664789	5,520635
Rozptyl	0,08297	0,235069	Rozptyl	0,077171	0,367148
Pozorování	71	63	Pozorování	71	63
Společný rozptyl	0,15441		Společný rozptyl	0,213372	
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0		Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	132		Rozdíl	132	
t stat	-21,1592		t stat	-10,7047	
P(T<=t) (1)	1,52E-44		P(T<=t) (1)	6,17E-20	
t krit (1)	1,656479		t krit (1)	1,656479	
P(T<=t) (2)	3,03E-44		P(T<=t) (2)	1,23E-19	
t krit (2)	1,978099		t krit (2)	1,978099	

Tab. 5 Test významnosti rozdílů pro vzorek S5

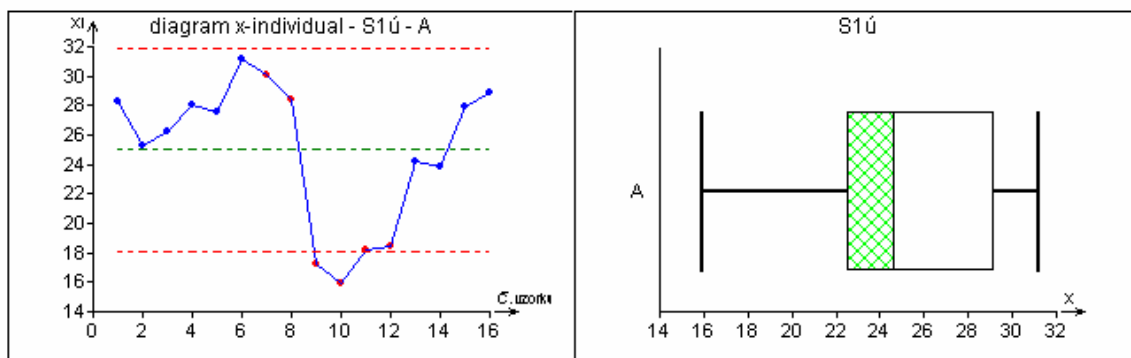
S5 Osnova			S5 Útek		
	<i>kruh</i>	<i>čtverec</i>		<i>kruh</i>	<i>čtverec</i>
Stř. hodnota	5,052113	6,679365	Stř. hodnota	4,95493	6,134921
Rozptyl	0,186531	0,437148	Rozptyl	0,188225	0,282632
Pozorování	71	63	Pozorování	71	63
Společný rozptyl	0,304245		Společný rozptyl	0,232568	
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0		Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	132		Rozdíl	132	
t stat	-17,0447		t stat	-14,1368	
P(T<=t) (1)	1,87E-35		P(T<=t) (1)	1,67E-28	
t krit (1)	1,656479		t krit (1)	1,656479	
P(T<=t) (2)	3,74E-35		P(T<=t) (2)	3,35E-28	
t krit (2)	1,978099		t krit (2)	1,978099	

Příloha 3 Regulační diagramy a krabicové grafy

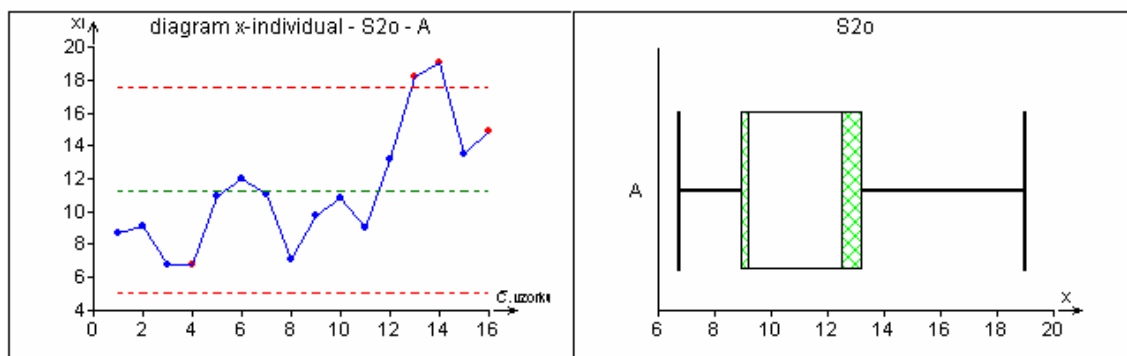
V programu QC-Expert byly vytvořeny krabicové grafy a regulační diagramy pro všechny typy tkanin (tj. S1 – S5) pro vzorky typu kruh. Vstupem byly hodnoty ohybových úhlů naměřené po osnově i útku. Důvodem analýzy byly na první pohled vybočující hodnoty, které nejspíše vznikly nepozorností experimentátora.



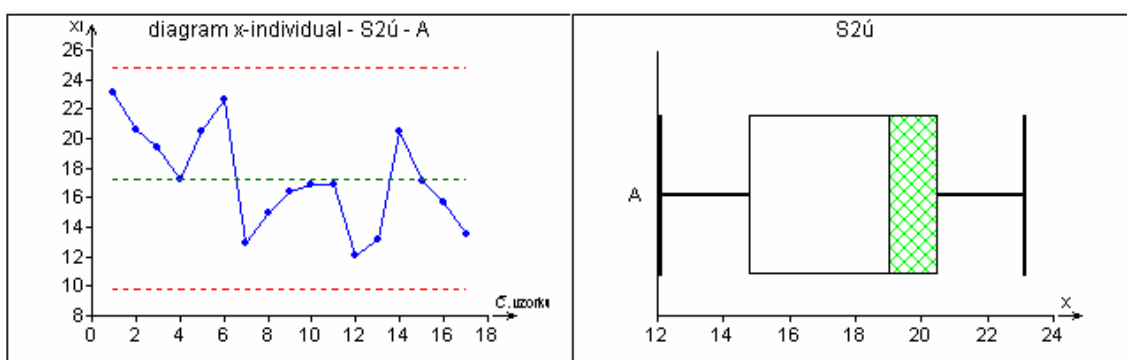
Obr. 6 Regulační diagram a krabicový graf pro vzorek S1 – osnova



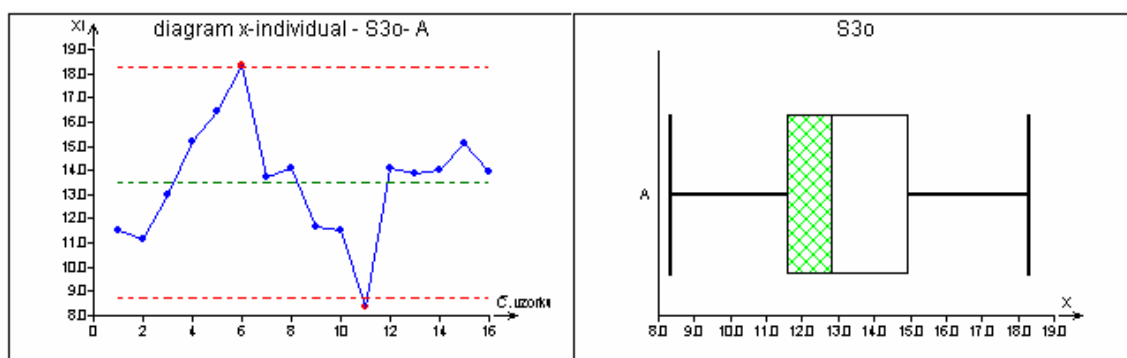
Obr. 7 Regulační diagram a krabicový graf pro vzorek S1 – útek



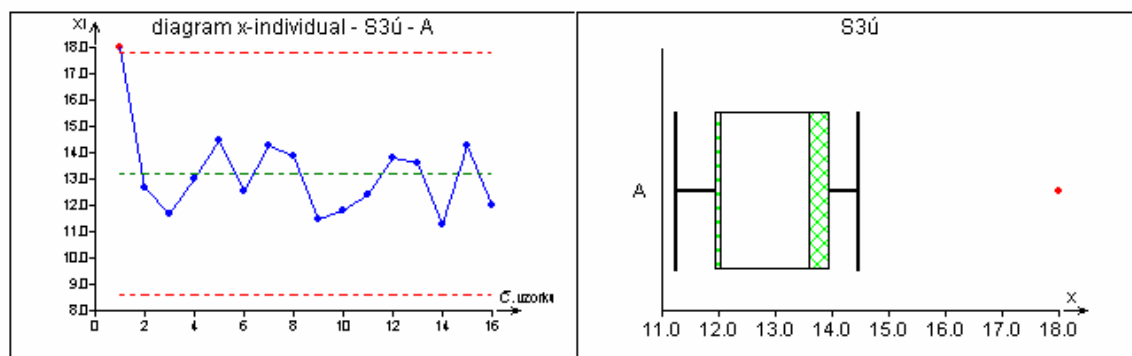
Obr. 8 Regulační diagram a krabicový graf pro vzorek S2 – osnova



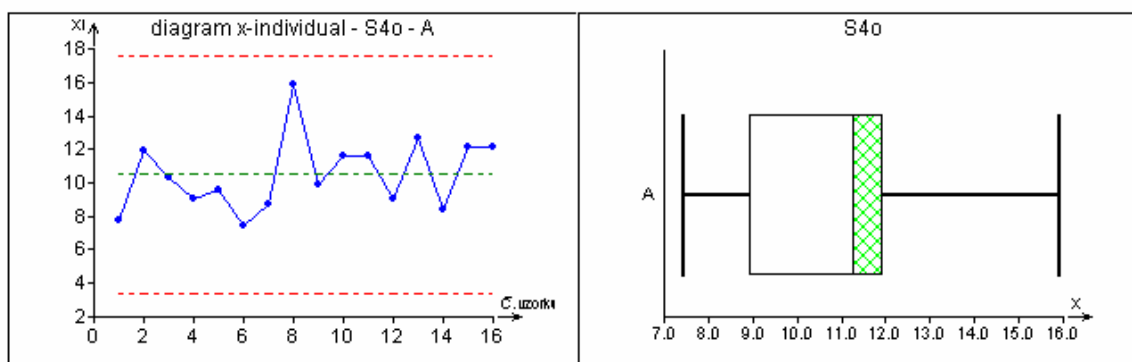
Obr. 9 Regulační diagram a krabicový graf pro vzorek S2 – útek



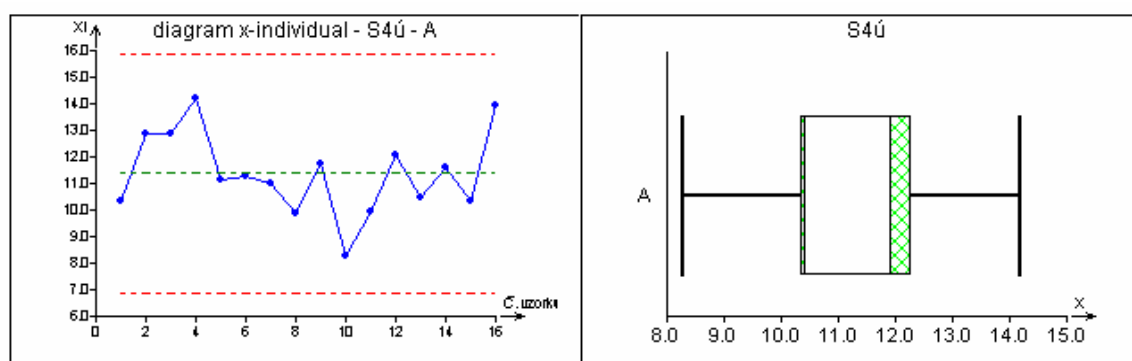
Obr. 10 Regulační diagram a krabicový graf pro vzorek S3 – osnova



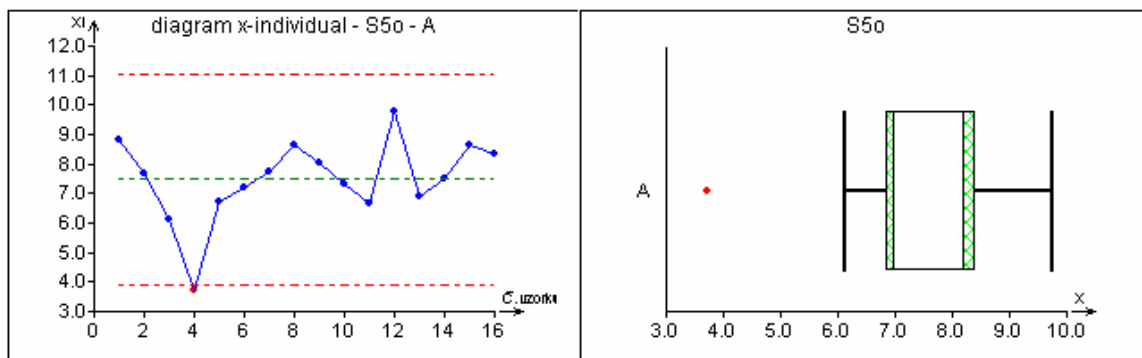
Obr. 11 Regulační diagram a krabicový graf pro vzorek S3 – útek



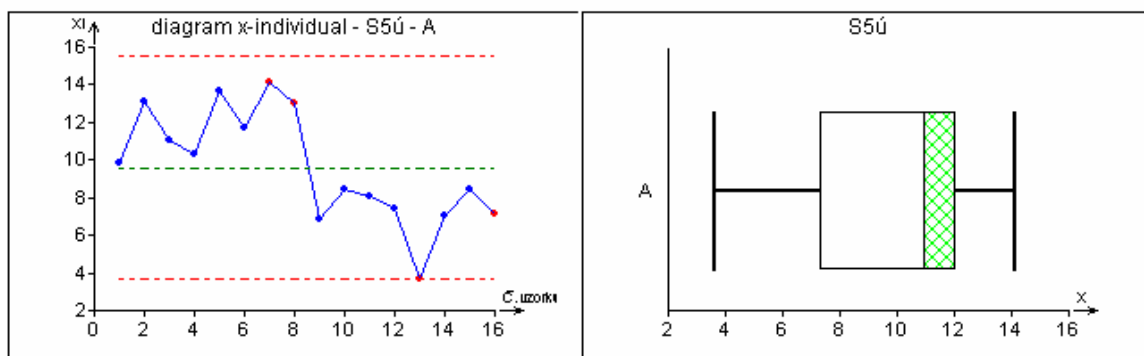
Obr. 12 Regulační diagram a krabicový graf pro vzorek S4 – osnova



Obr. 13 Regulační diagram a krabicový graf pro vzorek S4 – útek



Obr. 14 Regulační diagram a krabicová graf pro vzorek S5 – osnova



Obr. 15 Regulační diagram a krabicová graf pro vzorek S5 – útek